



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학박사학위논문

예비물리교사의 시스템 개념에 대한  
인식과 보존법칙 문제풀이의  
시스템 기반 이해

Physics Preservice Teachers' Perception of the  
Concept of System and their System-based  
Understanding of the Problem Solving in  
Conservation Law

2016년 2월

서울대학교 대학원  
과학교육과 물리전공  
지 영 래

예비물리교사의 시스템 개념에 대한  
인식과 보존법칙 문제풀이의  
시스템 기반 이해

Physics Preservice Teachers' Perception of the  
Concept of System and their System-based  
Understanding of the Problem Solving in  
Conservation Law

지도교수 송 진 응

이 논문을 교육학박사 학위논문으로 제출함  
2015년 10월

서울대학교 대학원  
과학교육과 물리전공  
지 영 래

지영래의 박사학위논문을 인준함  
2016년 1월

위 원 장 이 경 호 (인)

부위원장 이 봉 우 (인)

위 원 조 광 희 (인)

위 원 채 승 철 (인)

위 원 송 진 응 (인)

## 국문초록

과학자들은 연구의 편의성을 위해 연구 목적에 맞는 시스템을 선택하고 이상적인 시스템을 가정하며 연구를 설계하고 결과를 해석한다. 또한 시스템은 에너지, 물질, 구조, 기능, 안정성, 변화 등과 긴밀히 연관되어 물리학의 경계를 넘어 여러 과학 교과와 과학 개념들 사이의 연결고리 역할을 한다.

브루너는 교과 학습에서 지식의 구조를 파악해야 한다고 주장했다. 교과를 가르치는 교사는 해당 교과의 구조를 파악하고 이를 중심으로 내용 지식을 조직화해야 한다. 교과의 구조는 교과의 골격을 이루는 개념을 중심으로 구성될 수 있다.

이에 이 연구에서는 교과의 골격을 이루는 개념으로서 시스템을 제안하고 시스템이 물리 문제풀이의 각 과정에서 중심적인 역할을 함을 제안하고자 한다. 이 연구는 시스템에 대한 예비교사들의 이해와 이들의 물리학 보존법칙 문제풀이 과정을 살펴보고, 시스템에 기반한 이해의 과학 교육적 시사점을 얻고자 한다.

이를 위해 연구자는 시스템 개념 관련된 과학교육 문헌들을 분석하였다. 그리고 선행 연구 분석을 토대로 ‘물리적 상황을 시스템적으로 이해하기’ 위한 네 가지 단계를 제안하였다. 첫 번째 단계는 제시된 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 이해하는 것으로 ‘배경 상황의 파악 단계’이다. 두 번째 단계는 고려하고 있는 법칙과 원리가 적용되는 구성요소를 선택하는 것으로 ‘경계의 명료화 단계’이다. 세 번째 단계는 외부와의 유효한 상호작용을 선별하고 그 효과를 파악하는 것으로 ‘상호작

용의 평가 단계’이다. 네 번째 단계는 시스템과 그 구성요소의 물리적 상태를 추정하는 것으로 ‘시스템 상태의 추정 단계’이다.

예비연구는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건들의 일 부인 ‘배경 상황의 파악 단계’와 ‘상호작용의 평가 단계’에 대한 탐색을 목적으로 수행되었다. 예비연구의 자료 수집은 서울 소재 사범대학에 재학 중인 물리교육 전공자 40명을 대상으로 2012년 9월 첫째 주와 둘째 주에 걸쳐 실시하였다. 연구 참여자들은 학부 과정 2-4학년 예비교사들로 구성되었으며 모두 일반물리학 이상의 강좌를 수강한 경험이 있었다. 문항의 수준은 2009 개정 교육과정의 물리 I·II 수준을 넘지 않으며, 일반물리학 수준의 부력을 학습한 참여자들이 응답할 수 있는 수준으로 구성되었다. 문제 1은 동일한 액체에 잠긴 서로 다른 밀도가 갖는 물체들의 최종 위치를 묻는 문항이다. 문제 2와 3은 부력, 중력, 저항력을 적용하여 물체가 최종 위치에 이르는 과정에 대한 이해를 묻는 문항이다. 예비연구의 분석을 토대로, 문제에서 제시된 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위해서는 제시된 구성요소들의 물리적 특성과 제한 조건을 파악해야 함을 알 수 있었다. 이 물리적 상황과 제한 조건은 상호작용을 결정하는 데 영향을 주었다. 그리고 시스템 내부의 물체의 최종상태를 추정하기 위해서는 시스템에 유효한 상호작용을 추출할 수 있어야 함을 알 수 있었다.

그러나 예비연구에서는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하는 것의 전체 단계를 살펴보지 않았으며, 또한 시스템과 시스템의 경계 규정에 대한 예비교사들의 생각이 명시적으로 드러나지 못하는 어려움이 있었다. 따라서 이어지는 본 연구에서는 주제를 보존법칙 상황으로 제한하고, 시스템적으로 이해하기 위한 조건을 구체적으로 살펴보도록 연구 계획을 수립하였다.

본 연구는 설문과 심층면담으로 구성되었다. 설문 참여자들은 서울 소재 사범대학에서 물리교육을 전공하는 예비교사 63명이었다. 설문은 2014년 11월 말에서 12월 초까지 총 4회에 걸쳐 실시하였으며, 참여자들은 모두 일반물리학 수준 이상의 물리학 강좌를 수강한 경험이 있었다. 또한 2015년 7월에서 8월까지 6명의 물리교육 전공 예비교사를 대상으로 1시간 이상의 심층면담을 수행하였다.

연구의 첫 단계에서는 시스템에 대한 예비교사들의 이해 조사 단계로 설문과 심층면담을 수행되었다. 시스템에 대한 예비교사의 설명을 핵심어를 중심으로 분석한 결과, 공간(31.1%), 물질(24.4%), 관찰(13.3%), 상호작용(8.9%)을 사용하여 설명했다. 이는 부분들, 집합, 상호작용, 기능 등을 지적하였던 선행연구들의 결과와 차이가 있었다. 한편, 설문에 참여한 예비교사의 20%는 시스템을 설명하지 못하였다.

심층면담에서는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건인 ‘배경 상황의 파악’, ‘경계의 명료화’, ‘상호작용의 평가’, ‘시스템 상태 추정’을 중심으로 분석이 이루어졌다. 예비교사들은 시스템의 구성요소로 ‘공간에 대한 해석’, ‘여러 입자들의 모임’, ‘확연히 달라지는 구역’, ‘자연을 이루는 여러 가지 요소들의 집합’, ‘물질과 에너지가 교환되는 경계’, ‘공통된 관점으로 인지하고자 하는 것들의 묶음’ 등으로 다양하게 이해하고 있었다. 시스템의 경계의 명료화에 대해서는 ‘현상에 대한 해석이라는 목적에 적합한 시스템의 경계 잡기’, ‘상호작용하는 물리량의 구분을 위해서’, ‘질량 중심 또는 보존의 개념을 설명하기 위한’ 측면에서 강조하였다. 또한 시스템에서의 상호작용의 평가에서는 ‘시스템의 경계 짓기에 따른 물리량 이해’, ‘개념을 명확히 하기 위한 시스템을 경계로 한 상호작용 이해’가 추출되었다. 마지막으로 시스템 상태의 추정에서는 ‘타인의 해석이 담긴 시스템에 자신의 해석을 적용하기’, ‘현상을 설명하고자 하

는 목적에 따라 다양한 시스템을 스스로 결정’, ‘패러다임의 변화 및 새로운 사고를 위한 시스템의 구성요소 추가 및 제외’, ‘문제풀이에 필요한 요인을 선택하는 기준으로서의 기능’으로 설명하였다.

본 연구의 두 번째 단계에서는 보존법칙 관련 문제풀이에 대한 예비교사들의 이해를 시스템 개념을 중심으로 살펴보았다. 고립계에 적용되는 보존법칙으로 운동량 보존법칙, 역학적에너지 보존법칙, 비고립계에서 적용되는 보존법칙의 예로 열역학 제 1법칙, 베르누이 법칙에 대한 문항들이 주어지고, 각 문항에 대한 예비교사들의 응답을 ‘배경 상황의 파악’, ‘경계의 명료화’, ‘상호작용의 평가’, ‘시스템 상태 추정’의 측면에서 분석하였다. 이에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

첫째, 배경 상황의 이해에서 예비교사들은 대상에 대한 물리적 제한 조건을 이해하고 물리적 상황을 이해하기 위해 필요한 요인을 추출하는 것에 어려움이 나타났다. 둘째, 경계의 명료화에서 예비교사들은 시스템과 주위를 대상 물체와 상호작용하는 물체들을 중심으로 구분했다. 그러나 적용해야 하는 법칙을 고려하여 시스템과 주위의 경계를 구분하는 것에서는 어려움이 나타났다. 셋째, 상호작용의 평가에서 예비교사들은 시스템과 유효한 상호작용을 추출하는 것에 어려움이 있었다. 이는 그들이 시스템과 주위의 상호작용인 힘, 에너지, 일, 열 등을 파악하기는 했지만 시스템의 상태와 관련성에 대해서는 이해가 부족했기 때문이다. 마지막으로 시스템의 상태 추정에서는 앞의 세 단계에 대한 이해의 부족으로 시스템 또는 시스템의 구성요소의 정확한 물리적 상태를 예측하는 데 어려움이 나타났다.

종합하면, 예비교사들은 시스템을 다양한 측면에서 서술하거나 시스템에 대해 명확하게 대답하지 못하였지만, 물리학의 대상이 되는 물체

및 현상과 그것을 다루는 방법에 대해서 그들 자신의 생각을 확립하고 있었다. 그러나 시스템에 대한 인식이 다르더라도 물리적 상황을 이해하기 위해서는 구체적인 논리적 단계를 통한 접근이 필요하다. 이 연구는 물리적 상황을 시스템적으로 인식하고 시스템을 중심으로 조직화하여 물리적 상태를 해석하는 일련의 과정을 제안한다. 또한 시스템은 물리학의 주요 개념들과 밀접히 관련되어 개념들에 대한 명확한 이해를 보조한다. 이는 주요 개념들에서 파생된 여러 하위 개념들의 이해와도 관련된다는 점에서 물리학을 구조화하는 개념으로서도 교육적 시사점을 제공한다.

주요어 : 시스템, 시스템적 이해, 보존법칙, 문제풀이, 예비물리교사  
학 번 : 2012-31068



## 목 차

1. 서 론 .....	1
1.1. 연구의 동기와 목적 .....	1
1.2. 연구 문제 .....	3
1.3. 연구과정의 개요 .....	4
1.4. 용어의 정의 .....	8
1.5. 연구의 한계 .....	9
2. 선행 연구와 이론적 논의 .....	11
2.1. 지식의 구조 .....	11
2.2. 지식요소들의 관계에 대한 학습의 필요성 .....	13
2.3. 시스템 개념을 중심으로 한 지식요소의 조직화 ..	16
2.4. 물리학의 보존법칙과 시스템 개념 .....	24
3. 예비연구: 시스템에 작용하는 상호작용을 고려한 구 성요소의 상태 이해 .....	32
3.1. 연구의 필요성 및 목적 .....	32
3.2. 연구 대상 및 조사 내용 .....	35
3.3. 연구 결과 및 논의 .....	37
3.3.1. 상호작용하는 물리량에 따른 시스템의 물체의 상태 예측 .....	37
3.3.2. 시스템 내부 물체의 초기 위치에 따른 최종 위치 선택 .....	43
3.4. 결론 및 시사점 .....	48

4. 본 연구: 시스템 개념에 대한 예비교사의 인식과 문제풀이의 시스템적 이해	51
4.1. 연구의 필요성 및 목적	51
4.2. 연구 대상 및 조사 내용	54
4.3. 연구 결과 및 논의	58
4.3.1. 예비교사의 시스템 이해	58
(1) 핵심어를 중심으로 살펴본 시스템에 대한 인식	58
4.3.2. 시스템에 기반한 예비교사의 문제풀이 과정 분석	64
(1) 보존법칙의 성립조건에 대한 응답 분석	64
(2) 적용하는 법칙을 고려하지 못한 시스템의 구성요소 선택	70
(3) 외부와의 유효한 상호작용의 선별과 시스템에 미치는 영향 파악	76
(4) 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 고려하지 못한 시스템 이해	89
4.3.3. 심층면담 과정에서 나타난 시스템 이해	95
(1) 시스템에 대한 인식	95
(2) 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기	105
4.3.4. 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건	119
4.4 결론 및 시사점	121
5. 요약 및 결론	128
5.1. 요약 및 결론	128
5.2. 제언 및 후속 연구 과제	134
참고문헌	136

부록1. 예비연구 설문 도구 .....	143
부록2. 본 연구 설문 도구 .....	151
부록3. 연구 참여자용 설명서 및 동의서 .....	164
부록4. 심층면담 전사본(일부): 시스템에 대한 인식 .....	168
ABSTRACT .....	174

## 표 목 차

표 2.1 과학교육과정 관련 문서에서 제시된 공통주제들 .....	18
표 2.2 과학교육과정 관련 문서에서 제시된 공통주제의 특징 .....	19
표 2.3 과학교육과정 관련 문서에서 제시된 시스템의 특징 .....	21
표 2.4 선행연구에서 제시된 시스템 개념의 학습 목표 .....	24
표 3.1 예비연구의 문항 구성 .....	37
표 3.2 문항 1에 대한 학생들의 응답 분포 .....	39
표 3.3 문항 2와 3에 대한 학생들의 응답 수 .....	44
표 3.4 문항 2와 3에 대한 학생들의 설명 유형 .....	45
표 4.1 설문 참여 학생의 기본 정보 .....	54
표 4.2 설문지 A의 범주와 세부 문항 .....	57
표 4.3 설문지 B의 범주와 세부 문항 .....	58
표 4.4 과학에서의 시스템에 대한 예비교사들의 정의 .....	60
표 4.5 선행연구에서의 시스템의 정의 .....	61
표 4.6 시스템의 유형에 따른 예비교사들의 정의 .....	63
표 4.7 선운동량 및 각운동량 보존법칙의 전제조건에 대한 응답 수 (%) .....	66
표 4.8 역학적에너지 보존법칙의 전제조건에 대한 응답 수 (%) .....	67
표 4.9 열역학 1법칙이 적용 가능한 시스템에 대한 응답 ·	68
표 4.10 열역학 1법칙이 적용되기 위한 조건에 대한 응답	69
표 4.11 문항 (a) 풀이 과정에서 사용한 학생들의 시스템의 구성요소와 이유 .....	72
표 4.12 문항 (b) 풀이 과정에서 사용한 학생들의 시스템의	

구성요소와 이유 .....	74
표 4.13 내력과 외력의 분류 기준에 대한 학생들의 응답 ·	76
표 4.14 내력과 외력의 분류 필요성에 대한 학생들의 응답	78
표 4.15 외력이 작용하는 시스템의 역학적에너지 변화에 대한 응답 .....	81
표 4.16 외력이 작용하는 시스템의 내부에너지 변화에 대한 응답 .....	84
표 4.17 열역학적 일의 정의에 대한 응답 .....	85
표 4.18 단열계와 비단열계의 내부에너지 비교 .....	88
표 4.19 면적이 다른 두 경계에서의 일의 크기 비교 .....	91
표 4.20 면적이 다른 두 경계에서의 압력의 크기 비교 .....	94
표 4.21 심층면담과정에서 추출한 시스템에 대한 예비교사의 설명 .....	104

## 그 립 목 차

그림 1.1 연구과정의 개요 .....	7
그림 3.1 예비조사 [문항 1] .....	37
그림 3.2 밀도 순서에 따른 올바른 물체 배치 I .....	40
그림 3.3 밀도 순서에 따른 올바른 물체 배치 II .....	41
그림 3.4 잘못된 물체 배치의 두 유형 .....	41
그림 3.5 예비조사 [문항2]와 [문항 3] .....	43
그림 4.1 보존법칙 문제풀이 과정에서 사용한 시스템의 구성요소 선택과 이유에 관한 문항 .....	70
그림 4.2 외력이 작용하는 시스템 내부의 에너지 변화에 대한 설문 문항(설문지 B - 문항 4) .....	79
그림 4.3 외력이 작용하는 열이 이동 가능한 시스템 내부의 에너지 변화 .....	86
그림 4.4 이상유체가 흐르는 유체계의 물질량, 압력, 일에 대한 문항 .....	89
그림 4.5 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건 (system-based understanding) .....	120
그림 4.6 시스템적으로 이해하기의 핵심 조건인 ‘경계의 명료화’ .....	127

# 1. 서론

## 1.1. 연구의 동기와 목적

과학자들은 실제 세계의 현상을 물리적 세계로 가져와서 탐구 대상을 모델링하고 그 모델을 통해 과학 지식을 생성하고 발전시키며 이를 다시 현상에 적용한다 (Danusso et al., 2010; Gilbert, 2004; Halloun, 1996). 과학자들의 탐구활동과 유사하게, 과학학습에서도 예비교사들이 탐구활동을 통해 과학적 모델을 고안하고 스스로 생성한 모델을 사용하여 현상에 대한 설명체계를 구축하면서 지식을 효과적으로 구성할 수 있다 (Khan, 2007; 장은경 등, 2012).

탐구활동을 통해 과학자와 학생들이 생성하는 모델은 물체, 현상 등의 속성 중에서 관심을 둔 특징들을 표상한 것이며(Gilbert, 2004; 오필석, 2007), 이 표상은 실재(reality)를 계(system)로 규정하는 것에서 시작된다 (Halloun, 2007). Halloun(2007)은 물리적 시스템의 구조와 행동을 통해 특정한 유형을 탐색하고 개념적 구조를 구축하는 것을 통해서 과학적 구조가 생성된다고 설명하였으며, Schwarz 등 (2009)은 현상의 설명과 예측을 위해 시스템을 추상화 단순화한 표상을 거쳐 생성된 것을 모형이라고 지칭하였다.

시스템은 과학탐구와 과학 교수-학습의 여러 측면에서 중요성이 강조되어 왔다. 첫째, 과학자들은 연구 목적에 맞는 시스템을 규정함으로써 연구의 편의성을 향상시킬 수 있다. 실제로 상당수의 연구자들은 고립된 계를 사용하여 연구를 수행하고 결과를 해석한다 (NRC, 2012). 둘째, 시스템은 물리학을 넘어 여러 교과와 과학개념들 사이의 연결고리 역할을

한다. 특히 시스템은 과학의 주요 개념인 에너지, 물질, 구조, 기능, 안정성, 변화 등과 긴밀히 연관되어 학생의 과학개념 발달에 도움을 준다(NRC, 2012). 셋째, 학생들은 개념을 시스템을 중심으로 학습함으로써 통합적 사고 기술을 습득할 수 있다(NRC, 1996).

이와 같이 시스템의 과학교육적 역할에 대한 위상은 점차 증가하여 해외에서는 국가 과학 교육과정 수립을 위한 기준(standards) 또는 과학 교육과정의 핵심개념으로 채택되고 있다. 싱가포르는 중등 과학 교육과정에서 ‘모델과 시스템(models and system)’을 여섯 가지 주제(theme)의 하나로 선정하였으며, 캐나다 온타리오 주는 ‘시스템과 상호작용(systems and interactions)’을 여섯 가지 본질적 개념(fundamental concept)의 하나로 제시하였다. 미국도 차세대과학교육표준(Next Generation Science Standards)에서 ‘시스템과 시스템의 모델(systems and system models)’을 일곱 가지 관통개념(crosscutting concepts)의 하나로 제시하였다(NRC, 2012). 하지만 이러한 외국의 과학 교육과정에 제시된 시스템은 과학 전반에 대한 통합적 기능이 강조되어 물리학 내에서 시스템의 교육적 기능과 학습목표는 상대적으로 잘 드러나지 않았다.

선행연구들에서는 시스템이 물리학의 다양한 영역들에서 서로 다른 개념들과 긴밀히 연계된 개념으로서 물리학습에서 강조되어야 할 필요성이 제기되었다. 김은경 등(2010)은 일과 에너지 등의 개념들이 시스템과 긴밀히 관련되어 있으며, 특히 에너지, 운동량, 전하량, 질량보존법칙 등의 적용과 이해를 위해서 시스템의 학습이 필요함을 강조했다. Kohnle 등(2015)은 양자현상 학습에서 추상적이고 이상화된 시스템에 대한 학습이 양자역학 개념 이해의 기초라고 설명하였다. Samiullah(2007)은 열역학의 가역과정에서 엔트로피 보존에서 고립계에 대한 이해를 강조했으며, 이주현 등(2013)은 비가역 단열과정에서 시스템의 최종상태에 대한



과학고 학생들의 이해를 탐색하였다. 정용욱 등(2011)은 물리학의 동역학 관계식을 시스템을 포함한 존재론적 분석틀로 에너지 보존과 전환에 대한 학습의 시사점을 제안하였다. 이러한 시스템과 관련된 다양한 선행 연구들에도 불구하고, 문제 해결 과정에서 학생들이 시스템의 구성요소를 선택하고 시스템과 주위의 경계를 규정하는 방식(how)과 그 이유(why)를 토대로 물리 법칙 및 개념의 이해를 다룬 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구는 사범대학 물리 전공 학부생들의 보존법칙 적용을 시스템을 중심으로 살펴보았다. 이를 위해 먼저 예비교사들이 정의하는 시스템을 핵심단어를 중심으로 분석하였다. 그리고 운동량 보존법칙과 역학적 보존법칙이 적용되기 위한 조건을 분석하고 이를 시스템을 중심으로 논의하였으며, 시스템을 경계로 작용하는 힘에 대한 이해가 요구되는 내력과 외력의 정의를 문제풀이와 관련하여 자세히 논의하였다. 이와 같은 연구 결과를 토대로 시스템을 중심으로 한 역학 학습에 대한 시사점과 교육적 의의에 대해 논의하고자 한다.

## 1.2. 연구 질문

본 연구의 연구 질문은 다음과 같다.

첫째, 예비교사들은 시스템을 어떻게 이해하고 있는가?

- 1) 예비교사들이 생각하는 시스템의 구성요소는 무엇인가?
- 2) 예비교사들은 시스템을 어떻게 경계 짓는가?
- 3) 예비교사들은 시스템 내외에서 일어나는 상호작용을 이해하는가?
- 4) 예비교사들은 시스템의 상태를 어떻게 이해하는가?

둘째, 예비교사들의 보존법칙 문제풀이에서 나타난 시스템 이해의 특징은 어떠한가?

- 1) 예비교사들은 문제풀이에서 제시된 구성요소들의 특성과 제한 조건에 대해 어떻게 이해하는가?
- 2) 예비교사들은 문제풀이 과정에서 시스템과 주위를 어떻게 경계 짓는가?
- 3) 예비교사들은 문제풀이 과정에서 시스템 내외에서 일어나는 상호작용을 적용하고 있는가?
- 4) 예비교사들은 문제풀이 과정에서 시스템과 그 구성요소의 물리적 상태를 어떻게 이해하는가?

### 1.3. 연구과정의 개요

본 연구는 예비연구와 본 연구로 구성된다. 연구 과정의 세부 단계는 다음과 같다.

예비연구는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건의 일부인 ‘배경 상황의 파악 단계’와 ‘상호작용의 평가 단계’에 대한 탐색을 목적으로 수행되었다. 예비연구의 자료 수집은 서울 소재 사범대학에 재학 중인 물리교육 전공자 40명을 대상으로 2012년 9월 첫째 주와 둘째 주에 걸쳐 실시하였다. 연구 참여자들은 학부 과정 2학년에서 4학년 예비교사들로 구성되었으며 모두 일반 물리학 이상의 강좌를 수강한 경험이 있었다. 문항의 수준은 2009 개정 교육과정의 수준을 넘지 않으며, 일반 물리학 수준의 부력을 학습한 참여자들이 응답할 수 있는 수준으로 구성되었

다. 문제 1은 밀도에 따른 물체의 최종 위치를 묻는 문항이다. 문제 2와 3은 부력, 중력, 저항력을 적용하여 물체가 최종 위치에 이르는 과정에 대한 이해를 탐색하기 위해 개발되었다. 예비연구는 유체 속 물체의 위치와 운동에 대해 시스템 안에서의 상호작용과 경계 짓기에 대해 조사하였다. 일반적인 역학 상황과 달리 시스템 내부의 구성요소가 유체로 교체되었을 때, 시스템 내의 구성요소들의 이해와 함께 구성요소들의 상호작용에 의한 물리량에 대한 이해가 필요하다. 설문 문항은 물체의 밀도와 유체의 밀도라는 정보를 물체의 운동과 최종 위치로 관련 예비교사들의 설명을 분석하였다. 예비교사들은 명시적으로 제시되지 않은 시스템 내부의 상호작용에 고려하지 못하거나 기초적인 운동방정식 적용에서도 어려움을 겪었다.

그러나 예비연구에서는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기의 모든 단계를 전체적으로 살펴보지 않았으며, 예비교사들이 생각하는 시스템과 시스템의 경계 규정을 통한 해석이 명시적으로 드러내는 도구로서는 부족함이 있다. 따라서 본 연구에서는 주제를 보존법칙 상황으로 제한하고, 시스템적으로 이해하기 위한 조건을 구체적으로 살펴볼 수 있는 연구 계획을 수립하였다.

본 연구는 설문과 심층면담으로 구성된다. 설문 참여자들은 서울 소재 사범대학에서 물리교육을 전공하는 학부생 63명이었다. 설문은 2014년 11월 말에서 12월 초까지 총 4회에 걸쳐 실시하였으며, 참여자들은 모두 일반물리학 수준 이상의 물리학 강좌를 수강한 경험이 있었다. 또한 2015년 7월에서 8월까지 6명의 물리교육 전공 학부생을 대상으로 1시간 이상의 심층면담을 수행하였다.

본 연구는 두 부분으로 구성된다. 먼저, 시스템의 정의, 구성요소, 상

호작용, 기능을 설문과 심층면담을 통해 살펴보았다. 설문 및 면담은 서울 소재 사범대학 물리교육 학부생들로 일반물리 이상의 과정을 수강한 학생들로 구성하였다. 본 연구의 두 번째 부분은 보존법칙 문제풀이 과정에서 나타난 예비교사들의 이해를 시스템을 중심으로 분석하였다. 보존법칙은 임의의 시스템에서 보존되는 물리량과 관계되며, 각 보존법칙들의 개념적 설명에서도 시스템에 대한 이해가 강조되고 있다. 본 연구에서 사용한 보존법칙은 고립계와 비고립계 상황으로 구성하였다. 구체적으로 고립계는 역학의 대표적인 보존법칙인 운동량 보존법칙과 역학적 에너지 보존법칙과 관련되며, 비고립계는 열역학 제 1법칙과 베르누이 법칙 관련 문제들로 개발되었다.

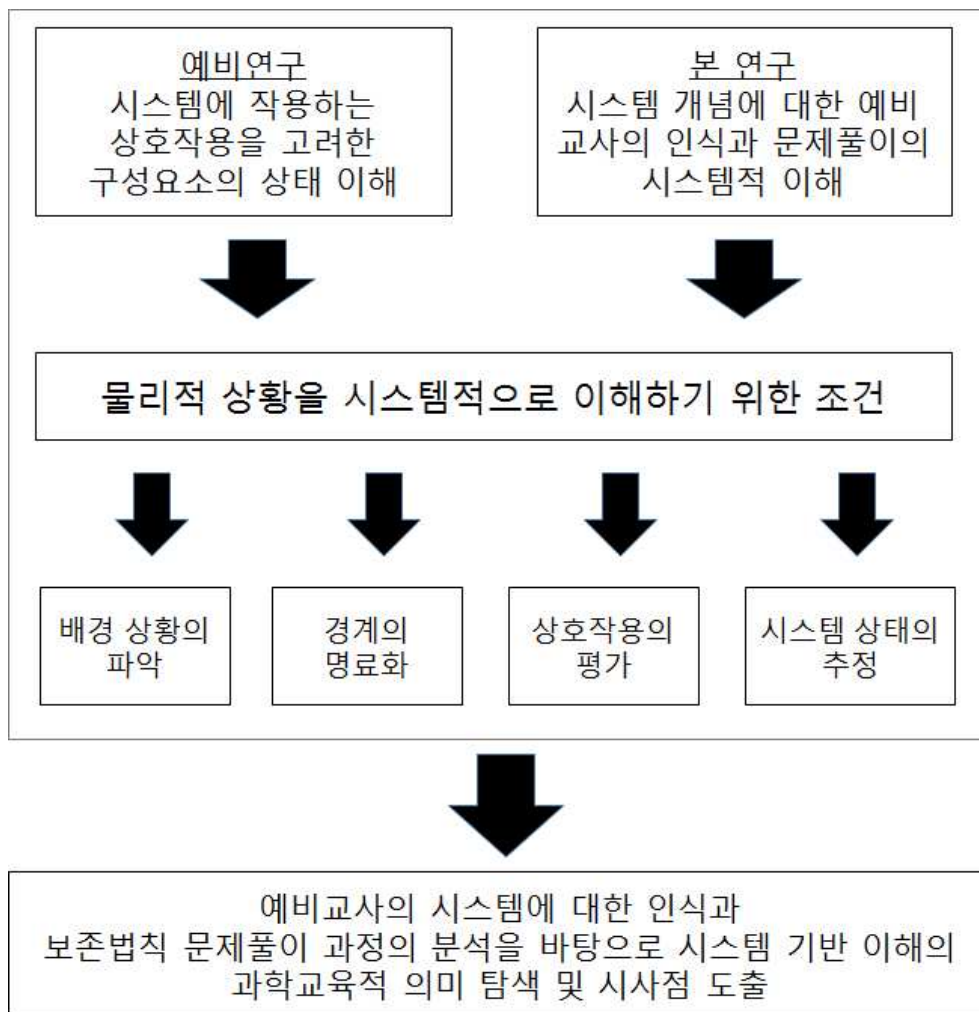


그림 1.1 연구 과정의 개요

## 1.4. 용어의 정의

### 문제풀이(problem solving)

Frazer(1982)는 문제풀이를 “지식과 기술을 이용하여 문제와 풀이 사이를 연결하는 과정”으로 설명하였으며 그 둘 사이의 관련성을 찾고 연결하는 과정으로 설명하였다. 또한 변태진(2012)은 “초기 상태로 놓인 물리 문제를 물리법칙과 이론 등을 활용하여 우리가 원하는 해답을 찾아가는 다리를 놓는 과정”으로 보았다. 본 연구에서는 문제 상황을 해결하기 위해 자신의 지식과 경험을 활용하여 과학 법칙 또는 개념과 설명을 연결하는 과정으로 볼 수 있다.

### 보존법칙(conservation Law)

물리학에서의 보존법칙은 시스템 내부의 구성요소의 운동 상태 및 배열(configuration)이 변화하더라도 변하지 않는 물리량에 대한 법칙을 의미한다. 보존법칙은 물리량이 보존되는 특정 시스템 하에서 생성되었다. 대표적인 보존법칙으로 운동량 보존법칙, 역학적에너지 보존법칙, 전하량 보존법칙 등이 있다.

### 시스템(system)

Bertalanffy (1950)는 시스템을 ‘상호작용하는 요소들의 복합체’로 National Research Council (2011)은 ‘관련이 있는 물체나 전체를 이루는 요소들로 구성된 그룹’으로 정의하고 부분들의 모임을 시스템으로 지칭하였다. Oxtoby 등 (2004)은 시스템이 ‘경계나 수학적으로 정의하여 생

성된 실제 또는 상상으로 정한 우주의 일부분' 또는 '어떤 특정 실험을 수행할 때 관심의 대상이 되는 우주의 한 부분'이라고 정의했다. Lutgens 등 (2008)은 시스템을 “한 복합체를 이루어내는 서로 작용하거나 독립적인 여러 부분들의 모임”이라고 설명했다. 본 연구에서의 시스템은 관찰자의 의도 또는 목적에 의해 상호작용하는 구성요소들이 외부와 경계 지어지며 해석의 대상이 되는 것으로 정의한다.

## 시스템 기반 이해(system-based understanding)

본 연구에서는 제시된 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기(system-based understanding)의 4가지 조건을 제안한다. 첫째, 제시된 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 안다 (배경 상황의 파악). 둘째, 고려하고 있는 법칙과 원리가 적용되는 구성요소를 선택할 수 있다 (경계의 명료화). 셋째, 외부와의 유효한 상호작용을 선별하고 그 효과를 파악할 수 있다 (상호작용의 평가). 넷째, 시스템과 그 구성요소의 물리적 상태를 추정할 수 있다 (시스템 상태의 추정).

## 1.5. 연구의 한계

본 연구는 시스템에 대한 예비교사들의 인식과 시스템에 따른 보존법칙 적용과 이해를 살펴보았다. 선정된 시스템과 관련 보존법칙은 다음과 같다. 고립계에 대해서는 선운동량 보존법칙과 각운동량 보존법칙, 비고립계에서는 열역학 제 1법칙, 베르누이 법칙을 선정하고, 각 시스템과 법칙들의 관계에 대해 살펴보았다. 그러나 선정된 법칙들이 각 시스템을 대표하는 법칙이라고 할 수 없다. 따라서 앞으로 더 많은 법칙 및 개념

들에 대한 연구를 통해 시스템에 대한 예비교사들의 이해를 살펴볼 필요가 있다.

또한, 본 연구에 참여한 예비교사들은 서울 소재 1개 대학교의 물리교육 전공 학부생이다. 특정 학교에 재학 중인 대학생들을 대상으로 이뤄진 연구이기 때문에 전체 대학생의 이해의 특징으로 일반화하기 어렵다. 따라서 다양한 배경을 가진 예비교사들의 이해는 본 연구의 결과와 일치하지 않을 수 있다. 연구 결과의 일반화를 위해서는 보다 다양한 수준과 전공의 학생들을 대상으로 연구가 추가적으로 실행될 필요가 있다.



## 2. 선행 연구와 이론적 논의

### 2.1. 지식의 구조

지식의 구조라는 용어는 1959년 미국의 Woodshole에서 교육학자와 교육전문가들이 미국 학교교육의 문제점에 대한 원인과 해결책을 찾기 위해 제안되었다 (김보경, 2012). Bruner(2010)는 구조를 ‘한 사물을 얹어 매고 있는 요소 또는 그 요소가 얹혀 있는 모양’이라고 설명하였다. 구조는 사물을 내부를 기술하는 것이 아닌 사물을 하나의 온전한 전체 또는 하나의 완결체로서 파악하는 전체성(wholeness)을 의미한다 (이홍우, 1987).

교과에서의 지식의 구조란 교과내용을 요소로 갖는다. 박재문(1998)은 지식의 구조를 각 학문의 내용이나 기본 개념들을 해당 학문의 탐구 방식이나 논리에 의해 조직해 놓은 것으로 설명하였다. 그는 교과서에 제시된 지식은 ‘지식의 현상’ 또는 ‘지식의 표면’이며 지식의 이면에 내재된 것들이 지식이 구조에 해당한다고 주장했다. 김보경(2012)은 지식의 두 층을 이중구조라고 지적하며 지식을 ‘기저구조’와 ‘표면구조’로 분류하였다.

지식의 두 가지 구조를 구분하는 기준은 다음과 같은 특징이 있다 (박재문, 1998; 송미영 & 유영만, 2009; 차미란, 2000). 기저구조는 범교과의 보편적이며 단순한 아이디어이며, 그 자체로 보편적이고 절대적인 지식이다. 기저구조는 개인이 주관적으로 경험하는 것이며 그 자체만을 표현하기 어렵다. 따라서 학생들이 기저구조를 스스로 인식하기 어렵다. 반면에 표면구조는 교과의 특수하고 복잡한 지식으로 객관적으로 명시되

어 공유될 수 있다. 표면구조는 언어적, 비언어적으로 표현 가능하며 그 자체로 인식될 수 있다.

지식의 두 구조를 구성하는 기저구조와 표면구조는 상보적 관계를 갖는다 (김보경, 2012).. 기저구조는 그 자체만으로 표현될 수 없기 때문에 표면구조에 의해서만 표현된다. 또한 표면구조는 기저구조에 근거하여 이해되어야 한다.

학습의 측면에서 지식의 구조가 갖는 장점은 다음과 같다(이홍우, 1987; 권재술 등 2012; 김보경, 2012). 첫째, 기본 개념 중심으로 학습함으로써 교과를 더 쉽게 이해할 수 있다. 둘째, 소수의 개념을 중심으로 교과를 이해할 수 있기 때문에 학습이 경제적이다. 셋째, 기본 개념을 중심으로 교수-학습을 진행할 수 있기 때문에 효율적이다. 넷째, 초보자와 전문가의 지식 사이의 비교를 통해 학습의 연계성을 도모할 수 있다.

전문가와 초보자의 지적 활동은 본질적으로 동일하며 이는 지식의 구조의 핵심 가설이다. 과학교육에서도 과학자와 학생들이 하는 지적 탐구 활동의 성격이 본질적으로 동일하며 (권재술 등, 2012), 교과가 지적으로 올바른 형식으로 표현될 어떤 발달 단계에 있는 아동에게도 효과적인 학습이 가능함을 지적하고 있다. 전문가는 초보자에 비해 한 현상을 다양한 현상과 연결하여 이해하며 사물을 독립적으로 이해하기보다는 지식의 구조를 통해 전체를 파악한다. 브루너는 종래의 교육이 지식을 구성하는 여러 개념들이 서로 관련되며, 한 개념으로부터 다른 개념이 파생되는 아름다움이 강조되어 있지 않다고 주장했다 (이홍우, 1987)

그렇지만 지식의 구조를 개념화하여 보급하기 위한 실천적 노력이 부족하다는 지적은 계속되어 왔다 (박재형, 2004; 김보경, 2012). 박재형 (2004)은 브루너가 지식의 구조를 실천하기 위한 하나의 방안으로 발견

학습을 제안하기는 했으나 발견학습에 대한 적극적인 규정이나 직접적인 설명을 하지 않았다고 지적했다. 김보경(2012)는 지식의 구조가 교사 및 개인에게 주관적으로 이해될 수 있기 때문에 타당성을 검증하는 것이 어렵기 때문이라고 설명했다.

브루너 이후에 교육연구자들 모두가 교과 구조 안에서 교과가 가르쳐져야 한다고 주장하지는 않는다. 하지만 많은 연구자들은 교과를 구성하는 지식요소들을 개별적으로 이해하는 것을 지양하고 서로의 관계를 고려하여 학습할 필요성을 제기하였다 (Kilpatric, Swafford, & Findell, 2001; Jin & Wang, 2014; Skemp, 1978; Bereiter & Scardamalia, 1998; Anderson, 2010; Bransford, Brown, & Cocking, 2000; Chi, Glaser, & Rees, 1982).

## 2.2. 지식요소들의 관계에 대한 학습의 필요성

한 교과를 학습한다는 것은 해당 교과를 구성하는 개념들을 이해하는 것이다. 연구자들은 특정 개념을 이해에서도 다른 개념들 사이의 관계를 파악하며 학습되어야 한다고 강조했다 (Heibert & Lefevre, 1986; Skemp, 1978; Skemp, 1986; Kilpatric, Swafford, & Findell, 2001, Jin & Wang, 2014).

Heibert & Lefevre(1986)는 개념 이해(conceptual understanding)은 개념지식(conceptual knowledge)을 알고 그것들의 관계적 이해(relational understanding)를 아는 것이라고 설명했다. Kilpatric, Swafford, & Findell(2001)은 개념 이해는 수학적 개념, 기능(operation), 관계(relation)를 이해하는 것으로 정의했다. 이는 Jin & Wang(2014)이 개념 이해의 핵심 구성요소의 3가지 단계에서 관계를 강조한 것에서 두드러진다. 첫

번째 단계는 개별적 개념(individual concepts)을 이해하는 단계이며, 두 번째 단계는 개념 묶음 사이의 관계(relations between pairs of concepts)를 이해하는 단계이다. 마지막으로 단계는 개념들과 기능 사이의 관계(relations among concepts and their operations)를 이해하는 것이다. Jin & Wang(2014)의 지적처럼 개념들 사이의 관계와 함께 그 개념들 자체의 기능 또는 법칙 안에서의 기능과의 관계까지 이해되어야 개념을 이해하는 것이 필요하다. 또한 Anderson(2010)은 한 명제를 망조직 연결로 표상하는 것이 기억에 용이하며 학습자가 능동적으로 정보를 연결하는 것이 정보처리에서 중요하다고 설명했다.

이러한 개념들의 관계를 이해하는 것의 중요성은 스키마(schema)에 대한 연구에서도 강조되고 있다. Sternberg(2003)는 스키마를 관련된 개념들을 의미 있는 구조로 지식을 조직하는 심적 틀로서 정의한다. Skemp(1986)는 수학적 규칙에 내재된 개념들을 이해하고 그 개념들이 형성하는 스키마를 학습해야 한다고 설명했다. Glaser & Chi(1988)는 전문가의 초보자의 구분은 그들의 전문 영역에서 문제해결에서 사용하는 스키마의 차이라고 주장했다. 전문가의 스키마는 방대하고 고도로 상호 연관된 지식 단위를 포함한다. 전문가는 초보자에 비해 해당 영역의 지식의 기저에 있는 지식 단위 간의 구조적 유사성에 따라 잘 조직되어 있기 때문이다. 마찬가지로 Chase & Simon(1973)은 초보자와 전문가의 차이가 지식의 양과 조직화 그리고 그 지식을 사용하는 데 있다고 설명한다. 그들은 체스 전문가가 의미 있는 체스판의 배열에 대해서는 말의 위치를 통합하고 조직된 지식의 단위로 기억하지만 무선으로 배열된 배치에 대해서는 초보자와 큰 차이가 없었다고 보고했다.

이 외에도 스키마에 대한 연구들에서는 지식요소들의 관계 맺기의 중요성을 강조된다 (Rumelhart & Ortony, 1977; Thorndyke, 1984;

Komatsu, 1992; Bryson, Bereiter, Scardamalia, & Joram, 1991). Rumelhart & Ortony(1977)는 스키마가 대상에 따라 변할 수 있는 전형적이고 일반적인 사실을 포함하기 때문에 상황에 따른 스키마의 지식요소를 변형할 수 있어야 한다고 설명했다. Komatsu(1992)는 관계에 대한 정보를 포함하는 스키마의 형성을 강조했다. 이를테면 차라는 개념에 대한 스키마를 형성하기 위해서는 트럭과 자동차 사이의 관계를 고려해야 한다. 또한 코끼리라는 개념을 이해하기 위해서는 코끼리의 키와 몸무게라는 한 개념 안에서의 속성 사이의 관계를 고려해야 한다. 또한 빨강이라는 개념을 이해하기 위해서는 체리의 빨강과 사과의 빨강과 같이 빨강과 관련된 개념의 속성들을 고려할 수 있어야 한다. 또한 물고기라는 개념을 이해하기 위해서는 바다라는 배경 지식요소 사이의 관계를 고려하는 것도 스키마 형성에서 중요하다. Bryson, Bereiter, Scardamalia, & Joram(1991)도 초보자의 스키마가 전문가에 비해 상대적으로 적고 단절된 지식 단위로 구성된다고 지적했다. 그들은 초보자의 스키마가 표면적인 유사성에 따라 조직화되어 있기 때문에 지식요소들의 관계를 고려한 조직화가 필요하다고 주장했다.

이와 같이 개념이해를 위해서는 개념 또는 지식요소들의 조직화가 필요하다. 그러나 선행연구들에서는 학생들은 개념들을 조직화하는 것을 어려워하고 교재들에서도 개념들의 관계를 잘 전달해주지 못한다고 지적하고 있다 (Bereiter & Scardamalia, 1998; Bransford, Brown, & Cocking, 2000; Chi, Glaser, & Rees, 1982; 김보경, 2012). Bereiter & Scardamalia(1998)는 학생들이 많은 양의 개념 지식을 갖고 있더라도 그 개념들을 의미 있는 방법으로 연결하지 못한다고 보고하였다. 또한 전문가의 지식이 문제에 대한 사고를 도와주는 핵심개념이나 빅 아이디어를 중심으로 조직되어 있는 반면 초보자는 문제를 표면적으로 인식하고 있

다 (Bransford, Brown, & Cocking, 2000; Chi, Glaser, & Rees, 1982). 이는 초보자들이 문제를 표면적으로만 인식하고 관련된 사실이나 공식을 목록화한 상태로 갖고 있기 때문이다. 또한 김보경(2012)은 교과서의 정보들이 연결되지 않은 정보 위주로 제시되어 있기 때문에 이해를 돕는 연결성이 부족함을 지적하며 지식의 구조화의 필요성을 주장하고 있다.

## 2.3. 시스템 개념을 중심으로 한 지식요소의 조직화

과학교육에서도 단편적인 개념학습에 대한 지적이 계속되어 왔다 (National Research Council, 1996; National Research Council, 2011; 방답이 등, 2013; 이운하 등, 2014). NRC(1996)은 학생들이 여러 교과와 과학개념들 사이의 연계성을 통해 통합적인 사고의 필요성을 강조했다. NRC(2011)은 과학의 주요 개념이 다른 개념들과 긴밀히 연관되어 있기 때문에 주요 개념을 중심으로 한 학습의 필요성을 제안했다. 또한 한 교과의 개념들 사이의 연계성을 넘어서 인접 교과와의 관계를 인식하고 각 교과에서 사용되는 개념들을 통합적으로 학습하는 것의 필요성이 확산되고 있다 (방답이 등, 2013; 이운하 등, 2014).

과학교육에서도 종전의 분과 중심적 교육과정을 공통주제(common themes)를 중심으로 재편성하려는 노력이 수행되어 왔다 (The American Association for the Advancement of Science, 1989, 1993, 2001; National Research Council, 1996, 2011; Achieve, 2013). 이러한 변화는 실제 세계가 학문의 경계처럼 분절되어 있지 않으며(강호감 등, 2007), 학생들의 과학지식 습득과 탐구 실행에서 통합적 안목의 중요성이 강조되고 있기 때문이다. 또한 통합주제는 자연계를 관통하는 통합적 안목이라 할 수 있으며, 다양한 자연현상을 몇 가지 통합적 주제로 묶을

수 있다(최미화, 최병순, 1999). 동일한 맥락에서 빅 아이디어는 독립된 개념을 서로 연결시켜 다양한 현상을 설명할 수 있도록 하는 한 학문 내 또는 다양한 학문을 아우르는 개념이다. 관련된 개념들을 포괄하는 빅 아이디어는 특정 분야에 한정되지 않는 기저가 되는 원리나 모델로 강조되고 있다 (Duschl et al., 2007; Smith et al., 2006; Wiggins & McTighe, 2005).

공통주제로 사용될 수 있는 개념들은 과학에서 사용되는 핵심개념들이 제안되었다. 과학교육과정에서 제기된 공통주제들을 살펴보면 다음과 같다 (표 2.1). Science for All Americans(1989)과 Benchmarks for Science Literacy(1993) 공통주제(Common Themes)로 시스템(system), 모델(models), 불변성과 변화(constancy and change), 척도(scale)를 제안하였다. National Science Education Standards(1996)는 통합개념(Unifying Concepts)으로 시스템, 질서, 조직(system, order, and organization), 증거, 모델, 설명(evidence, models, and explanation), 변화, 불변성, 측정(change, constancy, and measurement), 진화, 평형(evolution, equilibrium), 형태, 기능(form and function)를 제시하였다. Atlas for Science Literacy(2001, 2007)는 시스템(system), 모델(models), 불변성(constancy), 변화의 양식(pattern of change), 척도(scale)를 제안하였다. A Framework for K-12 Science Education(NRC, 2011)은 관통개념(Crosscutting Concepts)으로 규칙성(patterns), 원인과 효과(Cause and effect), 규모, 비례, 양(Scale, Proportion, and quantity), 시스템과 시스템의 모델(system and system models), 에너지와 물질(Energy and matter), 구조와 기능(Structure and function), 안정성과 변화(Stability and change)을 제시하였다. 이 문헌들에서는 공통적으로 시스템 개념이 과학 교과에 제안되었다.

표 2.1. 과학교육과정 관련 문서에서 제시된 공통주제들

과학교육과정 관련 문서	공통주제명	공통주제로 제안된 개념들
<i>Science for All Americans</i> (AAAS, 1989) <i>Benchmarks for Science Literacy</i> (AAAS, 1993)	공통주제(Common Themes)	<b>시스템(system)</b> , 모델(models), 불변성과 변화(constancy and change), 척도(scale)
<i>National Science Education Standards</i> (NRC, 1996)	통합개념(Unifying Concepts)	<b>시스템, 질서, 조직(system, order, and organization)</b> 증거, 모델, 설명(evidence, models, and explanation) 변화, 불변성, 측정(change, constancy, and measurement) 진화, 평형(evolution, equilibrium) 형태, 기능(form and function)
<i>Atlas for Science Literacy</i> (AAAS, 2001 / 2007)	공통주제(Common Themes)	<b>시스템(system)</b> , 모델(models), 불변성(constancy), 변화의 양식(pattern of change), 척도(scale)
<i>A Framework for K-12 Science Education</i> (NRC, 2011)	관통개념(Crosscutting Concepts)	규칙성(patterns), 원인과 효과(Cause and effect), 규모, 비례, 양(Scale, Proportion, and quantity), <b>시스템과 시스템의 모델(system and system models)</b> , 에너지와 물질(Energy and matter), 구조와 기능(Structure and function), 안정성과 변화(Stability and change)

문헌들에서 설명하고 있는 공통주제는 다음과 같은 특징이 나타났다 (표 2.2). 첫째, 초기의 인문사회 분야를 포함한 공통주제의 성격에 비교할 때 최근의 공통주제의 내용 지식의 범위는 과학교과에 집중되며 공학적인 측면도 중시되었다. 이를테면 1990년대의 Benchmarks for Science Literacy(1993)에서는 수학, 과학, 기술은 물론 경제, 정치를 포함한 다양한 학문의 범주까지 통합주제가 적용됨을 강조한 반면, 2010년대의 A



Framework for K-12 Science Education(2011)에서는 통합주제가 과학 분야들 또는 과학과 공학의 연결에서 일관성 있고 조직적인 체계를 갖추는 데 기여한다고 설명 하였다. 이러한 변화는 수학이나 언어에 대한 독자적인 교육표준이 수립되고 이에 따라 과학교육표준이 과학, 공학, 기술에 집중한 결과이다(National Research Council, 2011).

둘째, 공통주제는 분야별 경계를 가로지르는 근본적이며 포괄적인 개념이며, 학생들의 과학적 사고방식의 형성에 기여한다는 점에서 중요하다. 각 표준문서들에서는 통합주제가 학생들에게 과학을 바라보는 실제적인 사고방식을 제공한다고 설명한다. 이 문서들의 논의에 의하면 통합주제는 ‘아이디어, 설명, 이론제기, 설계’와 관련되거나(The American Association for the Advancement of Science, 1989) ‘실제적인 사고방식’(The American Association for the Advancement of Science, 1993) 또는 ‘생산적이며 통찰력 있는 사고방식’(National Research Council, 1996)의 제공을 가능하게 한다.

표 2.2. 과학교육과정 관련 문서에서 제시된 공통주제의 특징

과학교육과정 관련 문서	공통주제의 특징
<i>Science for All Americans</i> (AAAS, 1989)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과학, 수학, 기술 전반에 속함</li> <li>• 분야별 경계를 넘나드는 아이디어이며, 설명, 이론 제기, 관측, 설계에 효율적</li> </ul>
<i>Benchmarks for Science Literacy</i> (AAAS, 1993)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수학, 과학, 기술은 물론 상업, 제무, 교육, 법, 정치 등의 분야에 속함</li> <li>• 이론이나 발견이 아닌 실제적인 사고방식</li> </ul>
<i>National Science Education Standards</i> (NRC, 1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자연과 인공적인 세계에 대한 생산적이며 통찰력 있는 사고방식 제공</li> <li>• 전통적인 과학 분야를 연결</li> <li>• 근본적이고 포괄적임</li> </ul>
<i>A Framework for K-12 Science Education</i> (NRC, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과학과 공학에서 중요한 개념</li> <li>• 다양한 과학지식들을 과학적이고 일관성 있는 조직적인 체계로 만드는 역할</li> </ul>

시스템의 과학교육적 역할에 대한 위상은 점차 증가하여 해외에서는

국가 과학 교육과정 수립을 위한 기준(standards) 또는 실제 과학 교육 과정의 핵심개념으로 채택되고 있다. 싱가포르는 중등 과학 교육과정에서 ‘모델과 시스템(models and system)’을 여섯 가지 주제(theme)의 하나로 선정하였으며, 캐나다 온타리오 주는 ‘시스템과 상호작용(systems and interactions)’을 여섯 가지 본질적 개념(fundamental concept)의 하나로 제시하였다. 미국도 차세대 과학교육표준(Next Generation Science Standards)에서 ‘시스템과 시스템의 모델(systems and system models)’을 일곱 가지 관통개념(crosscutting concepts)의 하나로 제시하였다(National Research Council, 2012).

공통주제로 시스템을 제시한 문헌들에서 제시된 시스템의 특징은 다음과 같다(표 2.3). 첫째, ‘부분들(parts)’, ‘과정들(processes)’, 구성요소들의 ‘상호작용들(interactions)’을 통해 시스템이 정의되고 있다. 이를테면 계의 정의와 관련하여 Science for All Americans(1989)는 ‘서로에게 영향을 미치는 사물들의 집합’을, Benchmarks for Science Literacy(1993)와 Atlas for Science Literacy(2001, 2007)은 ‘임의의 기능을 수행하기 위해 상호작용하는 사물과 과정의 집합체’을, National Science Education Standards(1996)는 ‘하나의 전체를 형성하는 관련 물체들이나 원소들의 조직된 집합’을, A Framework for K-12 Science Education(2011)는 ‘관련이 있는 물체나 전체를 이루는 요소들로 구성된 그룹’을 제시하였다.

둘째, 시스템은 학생들의 사고방식 형성과 관련된다는 점에서 중요한 통합주제이다. 이를테면 Benchmarks for Science Literacy(1993)는 ‘시스템이 높은 차원의 사고(higher-order thinking)를 위한 필수 요소(essential components)’이며, 학생들은 시스템을 학습함으로써 ‘부분의 관점에서 전체를 생각’하고 ‘부분들이 다른 부분들과 또는 전체와 어떻게

관련'되어 있는지를 이해할 수 있다고 설명하였다. 한편 National Science Education Standards(1996)는 학생들이 시스템의 관점에서 사고하고 분석할 수 있다면, 다른 내용 표준(standards)인 '질량, 에너지, 물체, 생물, 사건들의 자취들을 추적'할 수 있다고 설명하였다. 또한, A Framework for K-12 Science Education(2011)은 '연구의 편리성을 위해 작은 부분을 정의하는 것이 중요함'을 강조하였으며, 시스템과 시스템의 모형이 '경계를 정하고 시스템의 분명한 모형을 만드는 것'과 '과학과 공학 전체에서 응용할 수 있는 아이디어를 이해하고 시험하는 방법의 제공'의 측면에서 중요하다고 설명하였다.

표 2.3 과학교육과정 관련 문서에서 제시된 시스템의 특징

과학교육과정 관련 문서	시스템(System)의 특징
<i>Science for All Americans</i> (AAAS, 1989)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 서로에게 영향을 미치는 사물들의 집합</li> </ul>
<i>Benchmarks for Science Literacy</i> (AAAS, 1993)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 높은 차원의 사고를 위한 필수요소이며, 임의의 기능을 수행하기 위해 상호작용하는 사물과 과정의 집합체</li> </ul>
<i>National Science Education Standards</i> (NRC, 1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하나의 전체를 형성하는 관련 물체들이나 원소들의 조직된 집합</li> </ul>
<i>A Framework for K-12 Science Education</i> (NRC, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관련이 있는 물체나 전체를 이루는 요소들로 구성된 그룹</li> </ul>

시스템은 교과와 핵심 개념으로서 지속적으로 제시되고 있으며 경계, 상호작용하는 부분, 창발성, 복잡성의 측면에서 학습이 제기되고 있다. 첫째, 시스템의 경계(boundary)에 대한 세부 학습목표는, '시스템의 위계, 경계의 불분명함, 목적에 따른 경계 선택의 중요성, 경계를 통한 물질과 에너지의 이동'으로 구성되었다. 모든 문서에서 제시된 학습목표는 시스

템의 위계성에 대한 이해와 목적에 따른 경계 선택의 중요성의 이해이다. 특히 과학의 여러 보존법칙은 특정 시스템에서 보존되는 물리량에 대한 법칙으로 목적에 따른 시스템의 규정과 관련 물리량과의 관계를 이해하는 것이 중요하다. A Framework for K-12 Science Education(2011)은 시스템과 시스템의 모형이 ‘다른 세 관통개념 ‘에너지와 물질(energy and matter)’, ‘안정성과 변화(constancy and change)’, ‘구조와 기능(structure and function)’ - 을 통해 분명해짐을 명시하여, 규정된 시스템의 물리량과 항상성, 기능의 이해가 통합주제로서 중요함을 강조하고 있다. 한편, Benchmarks for Science Literacy(1993)와 Atlas for Science Literacy(2001, 2007)는 시스템의 경계에 대한 학습이 6-8학년과 9-12학년에서 달성할 목표로 고학년에 적합한 내용으로 제시되었다.

둘째, 상호작용하는 부분(interacting parts)에 대한 세부 학습목표는, ‘부분들의 상호작용을 통한 전체에 대한 이해, 입력과 출력에 대한 이해, 피드백에 대한 이해’로 구성되었다. 모든 문서에서 제시된 학습목표는 시스템의 경계를 통한 입력과 출력에 대한 이해로 나타났다. A Framework for K-12 Science Education(2011)은 다른 관통개념인 ‘안정성과 변화(constancy and change)’와 관련하여 ‘시스템의 조절과 유지(피드백)’을 강조하였으며, Next Generation Science Standards(2012)는 시스템과 시스템 사이의 상호작용이 모델을 통해 모의실험(simulation)할 수 있으며 그 상호작용이 다른 관통개념 중 하나인 ‘에너지와 물질(energy and matter)’과 관련되어 있음을 강조하였다. 한편, Atlas for Science Literacy(2001, 2007)에서 가장 많은 7개의 과학지식과 탐구기능의 학습목표가 제안되었다. 시스템의 경계가 고학년의 학습목표로 제시된 반면, 상호작용은 상대적으로 저학년인 K-2, 3-5, 6-8 학년군에서 달

성해야 할 목표로 제안되었다.

셋째, 창발성(emergent property)에 대한 세부 학습목표는, ‘부분들의 상호작용의 결과로 새로운 기능 발생을 이해, 부분이 변하면 전체의 특성이 변화함을 이해’로 구성되었다. 창발성은 시스템의 부분들이 갖고 있지 않던 성질이나 기능이 전체 시스템에서 나타나는 것을 의미한다. 창발성은 Benchmarks for Science Literacy(1993)에서 시스템의 학습목표로 제시된 후 계속해서 제시되고 있으며, 초기에는 공학과 관련된 탐구 활동 위주의 학습이 제안되었다. 예를 들어, 종이, 나무, 플라스틱 등으로 작동하는 물체 만들기(K-2 grade), 기계나 전자장치를 수리할 때 원인을 점검, 부품을 교환, 전문가에게 조언 받기(9-12 grade) 등의 공학적 활동이 있다. 한편, Atlas for Science Literacy(2001, 2007)는 전체 학년에 걸쳐 고르게 5가지의 과학지식과 탐구기능을 학습목표로 제안하였다.

넷째, 복잡성(complexity)에 대한 세부 학습목표는, ‘통계와 전형적 예에 대한 이해, 비결정성에 대한 이해’로 구성되었다. 복잡성은 창발성과 함께 Benchmarks for Science Literacy(1993) 이후 지속적으로 제시된 학습목표로, 많은 구성요소들로 이루어진 시스템의 이해를 목적으로 한다. 복잡성은 학년 전체에 고르게 학습목표가 제안되어 있으며, 학년에 따라 논의되는 수준을 차별하도록 한다. 예를 들어, 저학년 학생들의 경우, 시스템의 복잡성을 학습함으로써 어떤 일에 영향을 주는 모든 요소를 알 수 없기 때문에 앞으로 일어날 일을 확신하지 못함을 이해할 수 있도록 한다. 반면, 고학년의 학습목표는 학생들이 통계적 접근을 통해 평균, 범위, 요약, 전형적 예를 통해 복잡한 시스템을 학습하고, 이를 통해 부분이나 부분의 연결의 변화 또는 미세한 조건의 차이에 의해서도 예측이 정밀하지 못함을 통해 인과적 결정론이 항상 적용될 수 없음을 이해하는 것으로 확장된다.

표 2.4 선행연구에서 제시된 시스템 개념의 학습 목표

시스템의 속성	학습 목표
경계 (Boundary)	1. 위계성에 대한 이해
	2. 경계의 불분명함을 이해
	3. 목적에 따른 경계 선택의 중요성의 이해
	4. 경계를 통한 물질과 에너지의 이동을 이해
부분들의 상호작용 (Interacting parts)	1. 부분들의 상호작용을 통한 전체의 이해
	2. 입력/출력에 대한 이해
	3. 피드백에 대한 이해
창발성 (Emergent property)	1. 부분들의 상호작용의 결과로 새로운 기능 발생을 이해
	2. 부분이 변하면 전체의 특성이 변화함을 이해
복잡성 (Complexity)	1. 통계와 전형적 예의 이해
	2. 비결정성에 대한 이해

## 2.4. 물리학의 보존법칙과 시스템 개념

물리학의 보존법칙은 시스템 내부의 물리량이 일정함과 관련되는 법칙이다. 보존되는 물리량을 통해 시스템 내부의 구성요소들의 운동 상태 및 시스템의 상태를 해석한다. 물리학의 보존법칙은 운동량 보존법칙, 에너지 보존법칙 등이 있으며 각 보존법칙이 적용되기 위해서는 시스템과 관련된 이해가 필요하다.

운동량 보존법칙은 물리학에서 가장 기본적인 법칙 중 하나이며 뉴턴 역학이 적용되지 않는 상대론적에서도 운동량 보존법칙은 성립한다 (Fowles & Cassiday, 2005). 일반적으로 사용되는 운동량 보존법칙은 외부에서 작용하는 알짜힘이 없는 고립된 시스템에서 총 운동량이 보존된다. 시스템 내부에서 충돌과 같은 상호작용이 발생하더라도 두 물체의 총 운동량은 뉴턴의 제 3법칙에 의해 동일한 크기와 반대 방향의 힘이

작용하여 보존되게 된다.

예를 들어, 여러 입자로 분리된 포사체의 질량중심은 입자들이 다른 물체와 부딪히지 않으며 이동할 때 포물선 경로와 동일하게 진행한다. 이와 같이 입자계에 작용하는 외력이 없거나 외력이 모두 상쇄되는 경우에는  $\sum F_i = 0$ 이어서  $a_{cm} = 0$ 이고  $v_{cm}$ 은 상수이다. 그러므로 입자계의 선운동량은 항상 일정하다. 이는  $\sum p_i = p = mv_{cm} = constant$ 로 표현되며 선운동량의 보존법칙으로 사용된다. 뉴턴 역학에서 고립된 입자계의 선운동량이 일정한 것은 제 3법칙과 직접 관련되는 결과이다. 그러나 자기력처럼 작용-반작용 법칙을 따르지 않을 경우에도 입자의 전체 선운동량과 자기장을 고려하면 선운동량의 보존법칙이 성립될 수 있다.

한편, Knight 등 (2009)은 선운동량 보존법칙을 다음과 같이 설명했다. 2개 이상의 물체로 이뤄진 입자계가 움직일 때, 그 시스템은 전체가 총 운동량을 갖는다. 입자계의 총운동량은 개별입자들의 운동량의 벡터 합이다. 특히 그는 임의의 물체들로 이루어진 시스템을 통한 운동량 보존법칙 및 내력과 외력을 중요성을 설명하였다. 시스템 내의 각 입자쌍은 작용-반작용 힘의 쌍으로 상호작용하고 있다. 두 입자의 충돌과 마찬가지로 두 입자의 운동량 변화는 서로 반대방향으로 같은 크기이다. 따라서 상호작용하는 힘들에 의한 두 입자의 운동량의 알짜 변화는 0이다. 같은 논의를 모든 쌍의 입자에 적용하면 입자 사이의 힘이 얼마나 복잡한가에 상관없이 시스템의 총 운동량은 변하지 않는다. 이 때 시스템 내부에 있는 입자 사이에서 작용하는 힘을 내력(internal force)라 한다. 다른 말로 내부 힘만 작용하는 시스템의 총 운동량은 보존된다. 반면 시스템 외부에서 힘이 작용하면 이를 외력(external force)라 한다. 외력은 시스템의 운동량을 변화시킨다.

즉, 시스템에 외력이 작용하지 않으면 시스템의 총 운동량은 보존된다. 또한 시스템에 작용하는 알짜 외력이 0인 경우에도 시스템의 총 운동량이 보존된다. 시스템의 운동량을 변화시킬 수 있는 외력이 없을 때, 이 시스템을 고립계(isolated system)이라 한다. 즉, 고립계의 총 운동량은 상수이며, 시스템 내부의 상호작용은 시스템의 총 운동량이 변하지 않는다는 것을 운동량 보존법칙이라 부른다.

Knight 등 (2009)은 운동량 보존법칙에 대한 문제풀이 전략을 제시했다. 운동량 보존법칙을 적용하기 위해서 “가능하면 고립계”를 고르거나, “상호작용이 충분히 짧고 강해서 그 작용시간 동안 외력을 무시할 수 있는 시스템”을 고른다. 그러나 고립계를 고르기 어렵다면 “운동의 한 구간 동안 운동량이 보존되도록” 문제를 여러 부분으로 나눈다.

문제풀이 단계의 첫 단계에서 시스템을 분명히 정의하는 것이 필요하다. 이는 문제를 풀 때 생기는 많은 실수가 운동량 보존을 적절하지 않은 시스템에 적용하기 때문이다. 즉, 학습자는 운동량이 보존되는 시스템을 선택하는 것을 목표로 해야 한다. 그리고 보존되는 것이 시스템 안에 있는 개별 입자의 운동량이 아니라 시스템의 총 운동량이라는 것을 이해해야 한다.

선운동량 보존법칙의 경우와 마찬가지로 각운동량의 경우에도 시스템을 선택하고 시스템의 외부에서 작용하는 물리량이 고려되어야 한다. Fowles & Cassiday (2005)은 어떤 입자계의 각운동량의 시간변화율은 모든 외력이 그 입자계에 작용하는 모멘트의 합과 같다. 입자계가 고립되어 있다면  $N=0$ 이고, 각운동량은 크기와 방향이 일정하다.  $L = \sum r_i \times m_i v_i = \text{constant vector}$  의 수식으로 각운동량 보존법칙을 설명할 수 있다. 이는 중심력장에서 단일입자에 적용되는 보존법칙을 일반화



한 것이다.

물리학은 물론 과학 전반에서 에너지 보존법칙은 보편적으로 사용되고 있다. 그 중에서 역학 분야에서는 역학적에너지 보존법칙에 대한 이해가 시스템을 구성하는 구성요소들의 운동상태 및 시스템의 상태 해석에서 중요하다.

역학적에너지(mechanical energy)는 운동에너지와 위치에너지의 합으로 운동이 진행되면서 항상 일정한 상수이다. 그러나 역학적에너지가 보존되기 위해서는 시스템 내부의 구성요소 사이에 작용하는 힘이 보존력(conservative force)으로 정의되어야 한다. 위치에너지를 갖지 않는 비보존력은 마찰력처럼 역학적에너지가 소실된다 (Fowles & Cassiday, 2005). 보존력은 위치에너지 함수  $F_x = -\frac{dV(x)}{dx}$ 의 형태로 유도된다. 이때  $x$ 축을 따라서 A에서 B까지 입자에 힘이 작용하여 한 일은  $\int F_x dx = -\Delta V = V(A) - V(B)$ 로 정의된다. 즉, 시스템 내부의 힘이 보존력일 경우 한 일은 퍼텐셜에너지의 상태함수로 정의된다. 힘이 한 일은 운동의 양끝 지점에서의 위치에너지만 관계되기 때문이다 (Fowles & Cassiday, 2005).

에너지 보존법칙은 역학적에너지 보존법칙에만 한정되지 않는다. 여러 가지 형태의 에너지가(운동, 정전기, 중력, 화학, 핵에너지)가 에너지 보존칙의 대상이 된다. 에너지는 한 형태에서 다른 형태의 에너지로 전환될 수 있으며 우주 내의 총 에너지는 결코 변하지 않으며 일정하다 (김승곤 등, 2001). 예를 들어, 기체가 들어 있는 용기 또는 열 역학계에서 시스템의 에너지가 증가하였다면 밖으로부터 에너지가 유입되었다고 볼 수 있다. 에너지는 기체 내의 일부나 시스템 내에서 추가적으로 생성

되지 않는다. 이 때 시스템으로 유입되거나 방출되는 매커니즘은 열과 일로 분류된다.

열은 두 물체 사이의 온도차에 의해 한 물체에서 다른 물체로의 자연스런 에너지 흐름으로 정의할 수 있다. 온도가 높은 곳에서 온도가 낮은 곳으로 흐른다. 다양한 과정에서 전달되는 에너지를 열이라고 부른다. 또한 열역학에서의 일은 시스템에서 빠져나가거나 들어오는 에너지 전달로 정의할 수 있다. 피스톤을 밀거나 저항에 전류가 흐를 때 시스템에 일을 한다고 할 수 있다. 이러한 경우에 시스템의 에너지는 증가하며 온도 역시 상승한다. 그러나 에너지의 흐름은 온도차에 의한 자연적인 것이 아니므로 시스템이 가열되고 있다고 설명하지 않는다. 보통 일이 관여할 때는 자동적으로 일어나지는 않으나 시스템에 에너지를 공급하는 어떤 힘을 확인할 수 있다.

열과 일은 에너지가 이동 중임을 의미한다. 시스템 내의 총 에너지를 언급할 수 있으나 시스템 내에 얼마나 많은 열 또는 얼마나 많은 일이 있냐고 묻는 것은 의미가 없다. 단지 시스템에 얼마나 많은 열이 공급되는가 또는 얼마나 많은 일이 가해졌는가를 말할 수 있을 뿐이다.

시스템 내부의 에너지를  $U$ , 열을  $Q$ , 일을  $W$ 라고 하자. 이 때 열과 일이 시스템으로 들어오면  $+$ , 나가면  $-$  값을 갖는다고 약속할 수 있다. 이 때 시스템에 공급된 총 에너지는  $Q+W$ 이며 에너지 보존법칙에 따라 이 양은 시스템의 에너지가 변하는 양과 같다. 이는  $\Delta U = Q+W$ 로 표현할 수 있다. 즉, 에너지 변화는 시스템에 공급된 열과 일의 합과 같다.

열역학에서 사용되는 일을 다루는 가장 대표적인 예는 피스톤을 미는 압축에 의한 시스템에 가해진 일이다. 고전 역학에서 일은 작용한 힘과 움직인 거리를  $W = \vec{F} \cdot d\vec{r}$ 로 정의한다. 기체의 경우 압력과 부피의 변화

로 정의한 일로 표현하는 것이 편리하다. 이는  $W = \vec{F} \Delta \vec{x}$  이다.

한편, 시스템이 포함하고 있는 에너지를 다루는 대신에 일을 추가할 수 있다. 이 일은 주위의 압력과 시스템의 부피의 곱이다. 에너지에 이 일  $P \Delta V$ 를 더한 양을 엔탈피라고 하며  $H$ 로 표기한다.

$$H \equiv U + P \Delta V$$

$H$ 는 무에서 시스템을 창조하고 시스템을 공간에 배치하는데 고려해야 할 전체 에너지의 합이다. 즉, 시스템을 임의 공간에서 제거하고자 할 때는  $U$ 뿐만 아니라 시스템이 없어져 생긴 공간을 메우는 데 필요한 일  $P \Delta V$ 도 고려해야 한다.

시스템과 주위에서 교환되는 일은 힘과 관련하여 논의되어야 한다. 그러나 힘 개념에 대한 선행연구들에서는 학생들이 힘을 물체의 속성으로 이해하고 있다고 지적한다. 힘 개념에 대한 학생들의 이해에 대한 연구를 (Clement, 1982; Hake 1998; Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992; Minstrell, 1982) 비롯하여, 힘은 뉴턴 3법칙에 대한 학생들의 이해에 대한 연구들이 계속해서 수행되어 왔다 (Brown, 1989; Montanero et al., 2002; Terry & Jones, 1986) 또한 Savinainen et al. (2005)은 일반적으로 대부분의 학생들이 뉴턴의 3법칙과 힘 개념에 대한 이해가 부족하다고 보고하였다. 이는 뉴턴의 3법칙이 가르치고 배울 때 모두 어렵다는 결과를 보여준다.

Terry & Jones (1986)는 학생들이 힘이 스스로 존재하는 것이나 사건으로서 물체의 속성(properties)으로 생각하였다. Savinainen et al. (2005)은 그 이유가 학생들은 힘을 물체의 본질적(innate) 또는 획득된(acquired) 속성으로 생각하고 다른 물체 사이에서의 상호작용에 의한 것으로 보지 않았기 때문이라고 해석하였다. 그 중에서도 많은 학생들이

움직이지 않는(inanimate and inert) 물체는 힘을 작용하지 않는다고 믿고 있다고 지적하였다. 예를 들어, 학생들은 탁자는 그 위에 놓여 있는 책에 힘을 작용하지 않는다고 생각한다는 것이 대표적이다 (Minstrell, 1982).

이와 같이 획득된(acquired) 속성으로서의 힘에 대한 학생들의 생각은 pre-Galilean 관점인 임페투스(impetus)와 밀접하게 연결되며, 학생들은 “기동력(motive power)” 또는 “내재력(intrinsic force)”에 의해 움직임이 지속되는 것으로 인식하게 된다 (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992; Sequira & Leite, 1991). Savinainen et al. (2005)은 이 관점을 갖는 학생들은 임페투스의 공급에 의해서만 물체가 움직인다고 생각하게 된다고 설명했다. 또한 이러한 관점은 힘은 상호작용에 의한 것이라는 것은 물론 뉴턴의 1법칙과도 일치하지 않는다.

Hestenes, Wells, and Swackhamer (1992)는 뉴턴적 사고로의 전환을 위한 가장 마지막 단계에서 극복해야 할 대안 개념으로 운동에 대한 임페투스 개념이라고 지적하고 있다.

내재적(innate) 속성으로서의 힘에서 상호작용으로서의 힘으로의 변화는 학생들의 기존의 생각의 단순한 확장이 아닌 관점의 변화를 필요로 한다 (Savinainen et al., 2005). 게다가 이러한 변화는 “세계의 본성(nature of world)”에 대한 기초적 믿음의 수정과 관련되며, Chi, Slotta, and de Leeuw (1994)는 이것이 존재론적 변화(shifts)와 관련된다고 지적했다. Chi et al. (1994)은 개념 변화(conceptual change)는 존재론적 변화(ontological shift)와 관련된다고 주장한다. 물체의 내재된 속성으로서의 힘에 대한 개념은 두 가지로 분류된다. 하나는 존재론적 범주의 “물질(matter)”이고 다른 하나는 존재론적 범주의 “과정(processes)”에

속하는 상호작용에 의한 힘에 대한 과학적 관점이다. Chi에 따르면 개념이 두 범주 사이에서 변화할 때 개념 변화가 일어난다.

Giancoli (2004)의 뉴턴의 3법칙에 대한 설명은 다음과 같다. “한 물체가 다른 물체에 힘을 가하면(exert), 힘을 받은 물체는 힘을 준 물체에게 동일한 반대 방향의 힘을 가한다(Whenever an object exerts a force on a second object, the second object exerts an equal and opposite force on the first)”. Savinainen et al. (2005)는 이러한 진술이 상호작용을 명확히(explicitly) 설명하지 못하고 있다고 지적했다.

힘 개념의 이해에서의 상호작용의 중요성에 대해 많은 연구자들도 물체들 사이의 상호작용으로서의 힘이 더 효율적으로 학습되어야 한다고 강조했다 (Brown, 1989; Hellingman, 1989, 1992; Jimenez & Perales, 2001; Reif, 1995a; Rief & Heller, 1982).

Rief (1995)는 운동과 상호작용을 기술하기 위해서 물리 시스템(physical system)의 분석을 제안했다. 그는 존재하지 않는 힘(nonexistent force)를 포함하지 않음으로써 상호작용을 규정해야 한다고 주장했다.

이 장에서는 보존법칙을 이해하고 적용하기 위해서 시스템 개념이 중요함을 정리하였다. 앞에서 정리한 것과 같이 여러 보존법칙들은 특정 시스템에서 정의되었기 때문에 보존법칙을 적용하기 위해서는 적용하고자 하는 물리적 상황이 특정 시스템의 조건을 만족하도록 설정해야 한다. 이를 위해서는 시스템에 포함해야 할 대상을 선정하고 시스템과 주위의 구성요소들의 물리적 특성을 제한하는 것이 요구된다.

### 3. 예비연구: 시스템에 작용하는 상호작용을 고려한 구성요소의 상태 이해<sup>1)</sup>

예비연구는 학생들의 유체로 이루어진 시스템 내부의 구성요소의 특성을 파악하고 이를 시스템 내부의 물체의 운동상태를 이해에 적용하는 방식을 탐색하였다. 이 과정에서 구성요소의 특성과 시스템에 작용하는 상호작용을 이해하는 것이 물체의 운동상태를 예측 행위에서 중요한 요인으로 작용하였다.

#### 3.1. 연구의 필요성 및 목적

물리 상황을 이해하기 위해서는 시스템의 경계를 선택하고 시스템에 작용하는 상호작용을 파악하는 것의 중요성은 강조되어 왔다 (The American Association for the Advancement of Science, 1989, 1993, 2001); National Research Council, 1996, 2011; Achieve, 2013). 시스템을 이해하는 것은 에너지와 물질, 안정성과 변화 등과 관련되어 있기 때문에(National Research Council, 2011), 시스템 내부의 물질적 상태를 예측하는 데 있어 중요하다.

시스템 전체 또는 시스템 내부의 물질의 물리적 상태를 파악하기 위해서는 시스템의 경계를 출입하는 물리량과 시스템과 시스템 사이의 상호작용을 이해가 필요하다. 이러한 이유로 Benchmarks for Science

---

1) 이 장의 주요 내용은 ‘지영래 & 송진웅. (2014). 유체 속 물체의 위치와 운동에 대한 예비교사의 이해. 새물리, 64(4), 426-435.’에 발표되었다. 이와 함께 추가로 분석된 내용이 포함되어 있다.

Literacy(1993)와 Atlas for Science Literacy(2001, 2007)에서는 시스템의 경계에 대한 학습을 강조하고, Framework for K-12 Science Education(2011)은 시스템의 경계를 통한 입력과 출력을 이해하는 것의 필요성을 강조하였다.

또한 다수의 물질이 포함된 시스템은 구성요소들의 무선(random) 운동을 이해하기 위해 통계와 비결정성에 대한 이해가 요구된다 (The American Association for the Advancement of Science, 1993). 따라서 유체와 같이 다수의 분자들이 포함된 시스템은 단일한 입자의 해석에 비해 수학적 기법 또는 고차원적 사고가 요구된다.

이러한 측면에서 부력은 일상생활에서 쉽게 관찰할 수 있는 물리적 상황이지만 물리학 학습 초기에 접하는 역학적 상황에 비해 시스템의 구성요소에 대한 이해와 시스템의 해석에서 어려움이 나타날 수 있다. 예비연구는 다수의 구성요소로 구성된 물리적 상황에서 나타나는 예비교사들의 이해를 시스템의 관점에 기초하여 분석하였다.

부력은 유체 안의 물체 단면에 작용하는 압력에 의해 발생하는 힘의 차로, 일상 생활에서 많이 관찰되는 액체와 기체 안에서의 물체 운동과 관련된다(이재석 & 이봉우, 2010). 부력을 이해하고 적용하기 위해서는 유체 내부의 임의의 지점에서의 압력과 운동방정식의 적용에 대한 학습이 필요하다. 현재 유체에서의 운동의 중요성은 2009 개정 교육과정에 반영되어, 물리 I의 ‘에너지’ 단원의 소단원인 ‘힘과 에너지의 이용’에 ‘유체의 법칙’이 포함되어 전반부에 부력에 대한 이해가 학습 목표로 강조되고 시행되고 있다(교육부, 2009).

부력에 대한 선행 연구를 수행한 연구자들은 학생들이 전 학년에 걸쳐 물체에 작용하는 부력에 대한 설명에 어려움을 겪고 있다고 지적하고

있다. Stepan's 등은 뜨고 가라앉는 개념에 대해 초등학교 저학년과 고학년, 중학생, 대학생 사이에 정답률이 비슷하며, 부력에 대한 설명이 부정확함을 지적하였다(Stepan's et al., 1988). Howe (1990) 등은 중학생들이 초등학생보다 일상생활 용어보다는 과학적 용어를 더 많이 사용했지만 정확한 이해 없이 용어를 사용한다는 것을 보였으며, 대학생들도 물 속에서 물체가 뜨고 가라앉는 상황을 과학적으로 바르게 설명하지 못한다는 연구 결과들이 있다(McKinnon & Renner, 1971; McDermotte, 1996; Heron et al., 2003). 이재석 & 이봉우 (2010)는 대부분의 초 중 고 학생들이 물 위에 떠 있는 물체에 작용하는 부력이 중력보다 크다고 응답하거나, 아르키메데스 원리의 문제에서 높은 정답률을 보였지만 부력 개념을 사용하여 과학적으로 설명하지 못함을 지적하였다. 위의 연구들에서는 학생들이 부력이나 압력과 같은 과학적 용어를 사용하지만, 부력을 정확히 이해하여 설명하지는 못한다는 지적을 공통적으로 하고 있다.

또한 부력에 대한 부정확한 이해는 학생들이 다른 과학 개념과 혼동하거나 압력에 대한 개념적 이해의 부족함에 원인이 있다고 지적한다. 이는 유체 분자들로 이뤄진 시스템이 갖는 특성에 대한 이해가 단일 입자에 작용하는 물리량에 비해 이해하기 어렵기 때문이다. 이형철과 이순자 (2000)는 초등학교 교사들이 수업에 적용한 원리를 그대로 부력에 적용했으며, 수업 학습 후 부력 단원을 학습하면 학생들은 부력이 수압과 마찬가지로 수심이 깊어질수록 커진다는 오개념이 발생할 수 있다고 지적하였다. 김희경과 김희진 (2009)은 예비 중등교사들이 압력이 작용하는 방향이 중력방향이며, 유체 내의 한 점에서 수직방향으로의 압력이 다른 방향보다 더 크다고 설명하였으며. 손진환 등(2003)과 김희경 등(2009)은 예비 중등교사들이 압력을 깊이의 함수로 생각하고 유체 내의 한 점에서의 압력이 특정한 방향을 갖는 벡터량으로 이해하고 있다고 지



적하였다. 권도현과 권성기 (2000)는 초등학생들이 물체가 물에 뜨고 가라앉는 현상에 대해 여러 개념을 갖고 있고 일관성이 부족하며, 제시되는 문제 상황에 따라서 부력을 밀도, 압력 등의 개념으로 사용한다고 지적하였다.

이와 같은 국내외에서 수행된 대부분의 선행 연구는 유체 내부에서 임의의 위치에 정지한 물체에 작용하는 부력과 압력의 크기 또는 방향에 대해 질문하는 항목으로 구성되어 있다(이재석 & 이봉우, 2010; Stepan et al., 1988; 이형철 & 이순자, 2000; 김희경 & 김희진, 2009; 손진환 등, 2003; 권도현 & 권성기, 2000). 그렇지만 학생들이 유체 내부에 임의의 위치에 정지해 있는 물체에 대한 이해의 부족은 물체의 특정 위치 도달 과정에 대한 학습의 부족과 관련된다.

이 예비연구는 물리 전공 예비 교사들이 물체의 최종 위치의 예측에서 다수의 물질로 구성된 시스템이라는 유체의 특성과 시스템에 작용하는 상호작용에 대한 이해와 적용을 조사하였다. 예비연구는 본 연구에서 다루게 될 물리적 현상을 시스템적으로 이해하기 위한 조건에 대한 기초 자료 수집으로서 의미가 있다.

## 3.2. 연구 대상 및 조사 내용

본 연구의 참여자들은 서울 소재 사범대학에 재학 중인 물리교육 전공자 40명으로, 설문은 2012년 9월 첫째 주와 둘째 주에 걸쳐 실시하였다. 이들은 2학년에서 4학년 학생들로 구성되었으며 모두 일반 물리학 이상의 강좌를 수강한 경험이 있었다. 본 연구의 내용은 2009 개정 교육과정의 수준을 넘지 않으며, 일반 물리학 수준의 부력을 학습한 참여자들이 응답할 수 있는 수준으로 구성되었다.

연구는 예비 교사들이 설문지에 응답하는 방식으로, 설문에 응답하는 시간은 총 30분이었다. 본 연구에 참여하지 않은 동일 대학 물리교육 전공자 4명에게 예비설문지를 사전검사로 실시하였으며, 그 결과를 토대로 설문지를 수정하였다. 설문지는 과학교육 전문가 3명(과학교육학 박사 2명, 석사 과정에 재학 중인 현직 중등교사 1명)이 내용 타당도를 검증하였다. 설문지의 1번 문제는 Loverude (2009)의 문항을 차용하였고, 문제 2, 3, 4번은 자체 개발하였다.

설문지의 문제 1은 밀도에 따른 물체의 최종 위치를 묻는 문항이다. 부피는 같지만 질량이 다른 물체 중 질량이 가장 큰 물체는 수조 바닥에 닿아 있고, 질량이 가장 작은 물체는 물에 완전히 잠기지 않은 상태로 떠 있다. 밀도가 가장 크거나 작은 물체를 제외한 나머지 세 물체들의 최종 위치 배치와 그 이유를 통해 물체의 밀도와 부력의 크기, 그리고 최종 위치의 관계에 대한 예비 교사들의 설명을 분석하였다(그림 3.1).

문제2와 3은 부력, 중력, 저항력을 적용하여 물체가 최종 위치에 이르는 과정에 대한 이해를 탐색하기 위해 개발되었다. 문제2와 3의 물체는 액체와 밀도가 동일하지만, 초기 위치는 각각 수면 위와 액체의 중간보다 약간 높은 위치에 제시되었다. 문제2의 물체는 아래 방향으로 운동하며, 작용하는 저항력과 바닥과의 반발계수에 따라 다양한 최종 위치가 결정된다. 반면에 문제3은 부력과 중력을 제외한 힘이 작용하지 않아 처음 위치에 그대로 정지한다. 저항력을 고려하는 것도 유체에서의 물체의 운동의 이해의 중요한 부분이기 때문에, 연구자는 각 문항에 쓸림 계수를 제시하지 않았다(그림 3.2).

표 3.1 예비연구의 문항 구성

	Specific	Common
문항 1	밀도의 크기 순서	중력, 부력의 크기, 알짜힘, 밀도
문항 2	초기 위치(또는 초기 상태)	
문항 3		

### 3.3. 연구 결과 및 논의

#### 3.3.1. 상호작용하는 물리량에 따른 시스템의 물체의 상태 예측

문제1은 밀도가 서로 다른 물체 중 가장 작은 밀도와 가장 큰 밀도의 물체의 위치를 제시했으며, 연구 참여자들에게 나머지 세 물체의 최종 위치를 표시하고 이유를 쓰도록 하였다. 본 문항은 단일한 정답이 존재하지 않는데, 그 이유는 3가지로 물체와 유체의 밀도를 가정하는 방법, 물체의 처음 운동 상태(또는 초기 위치), 그리고 유체와의 저항력에 따라 다양한 위치가 가능하기 때문이다.

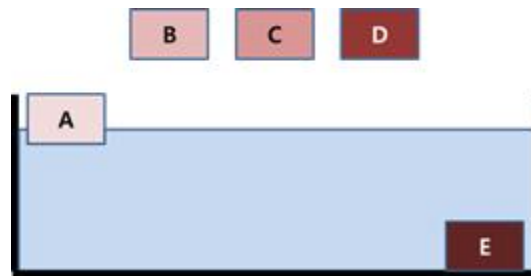


그림 3.1. 예비조사 [문항 1]: 유체 속에서 나무토막 A와 E의 위치는 그림과 같다. 모양과 크기가 같은 나무토막의 질량이  $A < B < C < D < E$ 라고 할 때, 나무토막 B, C, D의 최종 위치를 그리고 그 이유를 설명하시오.

물체와 물의 밀도를 크기 별로 나열 가능한 방법은 다음과 같이 총 7가지이다(① 물<B<C<D, ② B<물<C<D, ③ B<C<물<D, ④ B<C<D<물, ⑤ 물=B<C<D, ⑥ B<물=C<D, ⑦ B<C<물=D). 이 때, ①~④의 경우는 최종 위치가 정확하게 결정된다. 그러나 ⑤~⑦과 같이 유체와 밀도가 같은 물체의 경우는 고려하는 상호작용의 종류와 크기에 따라 물체의 최종 위치에 대한 다양한 해석이 가능하다. 문제풀이를 위해 고려해야 하는 상호작용은 물체와 바닥의, 물체와 유체의 상호작용의 2가지이다. 이와 같은 상호작용을 포함하여 유체와 밀도가 같은 물체의 최종 위치는 처음 운동 상태(또는 초기 위치), 유체와의 저항력, 그리고 바닥과의 반발계수에 따라 ‘유체에 완전히 잠긴’ 모든 위치가 가능하다.

문제1에서, 분석이 어려운 데이터와 부력을 잘 이해하지 못해 응답하기 어렵다는 10명(25%) 제외한, 30명의 예비 교사들의 응답을 분석하였다. 예비 교사들은 가능한 7개의 조건 중에서 ①과 ⑦을 제외한, 5가지 조건을 가정하여 최종 위치에 대해 응답했으며(②~⑥, 20명, 50%), 10명(25%)은 과학적으로 불가능한 최종 위치(L1, L2)로 답하였다. 연구자는 잘못된 배치를 물에 완전히 잠긴 물체에 대한 이해 부족(L1)과 물에 완전히 잠기지 않은 물체에 대한 이해 부족(L2)으로 다시 분류하였다(표 3.2).

표 3.2 문항 1에 대한 학생들의 응답 분포

분류	정답					오답		기타	총합
	밀도에 따른 배열*					L1**	L2**		
	②	③	④	⑤	⑥				
$N$ (%)	4 (10%)	4 (10%)	8 (20%)	1 (2.5%)	3 (7.5%)	7 (17.5%)	3 (7.5%)	10 (25%)	40 (100%)
부분합 $N$ (%)	16 (50%)			4 (10%)		10 (25%)		10 (25%)	

\*밀도에 따른 배열: ②  $B < \text{Water} < C < D$ , ③  $B < C < \text{Water} < D$ , ④  $B < C < D < \text{Water}$ ,

⑤  $\text{Water} = B < C < D$ , ⑥  $B < \text{Water} = C < D$

\*\*L1: 잠긴 물체에 대한 이해 부족 / L2: 떠 있는 물체에 대한 이해 부족

#### (1) 밀도의 크기 비교만으로 물체의 최종 위치 선택

물과 밀도가 같은 물체를 가정하지 않고 문제를 해결한 예비 교사들은 전체의 50%로(②~④), 그림 4.2와 같이 물체들을 배치하였다. 물과 밀도가 같은 물체를 가정한 경우(⑤, ⑥)는 10%로 상대적으로 적었는데, 유체와 물체의 밀도가 동일한 경우에는 물체의 최종 위치를 결정하기 위해 더 많은 변인을 고려해야 하기 때문이라고 판단된다.

② ~ ④의 조건을 선택한 예비 교사들은 두 가지 원칙으로 물체들을 배치하였다. 첫 번째 원칙은 물보다 밀도가 큰 물체들은 수조 바닥에 배치, 두 번째 원칙은 물보다 밀도가 작은 물체의 경우 밀도가 작은 물체를 더 높은 위치에 배치였다. 하지만 이 조건을 선택한 응답자들은 물과 물체의 밀도 비교만으로 물체의 ‘뜨거나 가라앉음’을 이해하였고, 부력을 이용하여 현상을 설명하지 않는 경우가 많았다. 이 조건에 해당하는 응답자들의 설명은 다음과 같다.

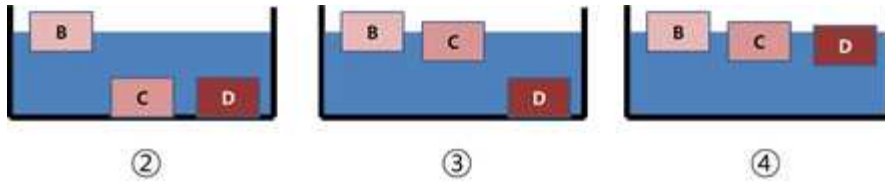


그림 3.2. 밀도 순서에 따른 올바른 물체 배치 I (②  $B < \text{물} < C < D$ , ③  $B < C < \text{물} < D$ , ④  $B < C < D < \text{물}$ ).

[학생12] 밀도는  $A < B < C < D < E$  순이나 물의 밀도와 비교 정보는  $A < \text{물} < E$  밖에 알지 못하므로 B, C, D 중 **물의 밀도보다 큰 물체는 가라앉을 것이고 작은 물체는 떠오르게 된다.** 이 때 밀도가 물보다 작은 물체들 중 밀도가 큰 순으로 가라앉은 부분의 부피가 더 클 것이다.

[학생22] 물보다 밀도가 크면 가라앉게 되고 작으면 뜨게 되므로 물의 밀도가 높이에 따라 같다고 하면 물체의 **밀도가 물보다 큰 것은 끝까지 가라앉고 나머진 다 뜨게 된다.** 뜨는 것 중에서는 질량이 클 수록 부력이 커야 하므로 많이 잠기게 된다. (D부터 물보다 밀도가 크다고 가정)

\*( ) 안의 내용도 학생이 직접 기술

(2) 시스템에 작용하는 부력과 중력의 합으로 물체의 최종 위치 선택

한편, 물과 밀도가 같은 물체를 포함하여 물체들을 배치한 예비 교사는 전체의 10%였다. ⑤번 조건에 해당하는 배치는 2.5%, ⑥번 조건에 해당하는 배치는 7.5%였다(그림 3.3). ⑥번 조건에 해당하는 배치는 두 가지 형태가 나타났으며, 물체 C가 물의 중간에 나타나는 배치는 ⑥, 물체 C가 수면에 닿아 있는 경우는 ⑥'으로 표기하였다. 반면에 ⑦번 조건은 예비 교사들이 선택하지 않았다. 그리고 그림 3.3.과 같이 물체의 최종 위치를 선택한 응답자 4명 중 2명이 물과 밀도가 같은 물체를 가정하여 아래와 같이 설명하였다.

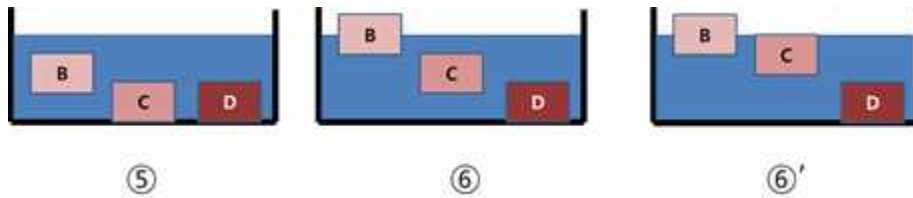


그림 3.3. 밀도 순서에 따른 올바른 물체 배치 II (⑤  $\text{Water} = B < C < D$ , ⑥  $B < \text{Water} = C < D$ ).

[학생 33] 부력은 그 물체가 차지하는 물에 작용하는 힘의 크기.

B는 물과 비슷해 보이므로 (색깔을 보았을 때) 물의 어디에 있든 부력과 중력이 평형을 이루고 C와 D는 중력이 더 크므로 밑에 가라앉아 수직 항력이 더해진다.

- ⑤ 배치

[학생 13] A는 아래쪽에 잠긴 만큼의 물의 중력만큼 부력을 받고 그것이 A의 중력과 같아 떠 있다. B는 중력이 커진 만큼 잠긴 부피도 커져서 평형이 유지된다. C는 이상적으로 물과 밀도가 같고 아무런 이동도 없는 경우에 가능한 상황이다. D, E는 물보다 밀도가 커서 가라앉는다(중력 > 부력). - ⑥ 배치

\*( ) 안의 내용도 학생이 직접 기술

### (3) 시스템에 작용하는 부력의 크기 계산의 오류

표 4.2에 제시한 것과 같이, 잘못된 배치를 선택한 10명의 응답은 물에 완전히 잠긴 상태에서의 위치 차이에 대한 이해 부족(L1, 17.5%), 물보다 밀도가 작은 물체들의 잠기는 부피의 차이에 대한 이해 부족(L2, 7.5%)으로 분류하였다(그림 3.4).

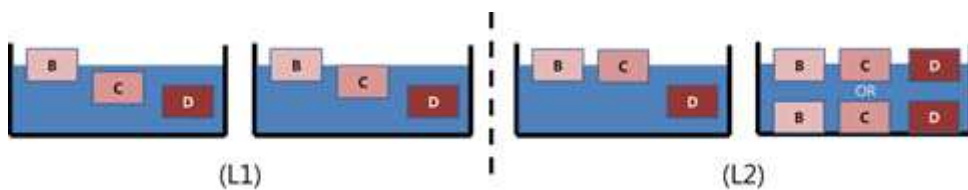


그림 3.4. 잘못된 물체 배치의 두 유형 (L1: 잠긴 물체에 대한 이해 부족 / L2: 떠 있는 물체에 대한 이해 부족)

그림 4.4의 L1은 두 물체 C, D가 물에 완전히 잠긴 채 다른 높이로 정지해 있다. 그러나 이와 같은 위치는 C, D의 밀도가 물과 같아야 하기 때문에, 문제에서 제시된 물체의 밀도가 서로 다르다는 전제 조건에 위배된다. 잘못된 최종 위치를 선택한 예비 교사들은 부력의 크기에 대한 이해와 운동 방정식에 적용에 어려움이 있었다.

첫 번째 오류에 해당하는 부력의 크기에 대한 이해 부족은 문항 전반에 걸쳐 나타나고 있다. 응답자들은 부력의 크기가 물체의 밀도와 비례한다고 설명하거나 부력을 전혀 적용하지 못하고 A와 E의 위치를 보고 상대적인 위치를 추정하였다. 응답자들의 설명은 다음과 같다.

[학생 23] 밀도는  $A < B < C < D < E$  순으로 부력(의 크기가)이 결정된다. 하지만 B, C, D의 위치는 알 수 없다.

[학생 29] 부피는 같고 질량이  $A < B < C < D < E$  이고 A는 가장 수면 쪽에 E는 바닥 쪽에 있으므로 B, C, D가 순서대로 나타날 것 같다.

[학생 38] **부력은 (물체의) 밀도에 비례**하는데, 밀도가  $A < B < C < D < E$ 이기 때문이다.

\*( ) 안의 내용도 학생이 직접 기술

두 번째는 운동방정식 적용의 오류이다. 부력을 잘 이해한 응답자의 경우에도, 완전히 잠긴 물체의 밀도가 클수록 중력이 더 크게 작용해서 ‘물에 완전히 잠기며’, ‘상대적으로’ 낮은 위치에 있다고 설명하였다. 이는 문제 적용 맥락의 변화에 따른 역학적 사고 적용의 어려움으로 분석된다. 이에 대한 응답자들의 설명은 다음과 같다.

[학생 10] 부력= $\rho g V$ 이다. 따라서 밀어낸 부피에 비례하게 된다. 따라서 물에 잠긴 부피가 같으면 부력은 같다. 따라서 **질량이 클수록 (물에 완전히 잠긴 채) 더 가라앉게** 된다.

[학생 30] 밀도가  $A < B < C < D < E$  순이다. 밀도가 클수록 물에 **(완전히 잠긴 채) 더 잘 가라앉는다**



[학생 36] 물체가  $mg$ 에 의해 더 힘을 많이 작용하고 부력은 (잠긴) 부피와 관계하므로 질량 순서대로 (물에 완전히 잠긴 채) 물 속 깊이 가라앉는다

### 3.3.2. 시스템 내부 물체의 초기 위치에 따른 최종 위치 선택

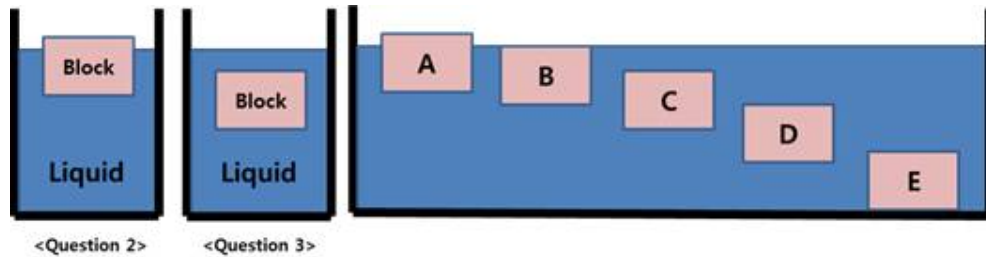


그림 3.5. 예비조사 [문항2]와 [문항 3]: 액체와 밀도가 같은 나무토막이 문항 2와 문항 3과 같이 서로 다른 처음 위치에서 놓아졌을 때, 물체의 최종 위치를 A~E 중에서 선택하고 그 이유를 설명하라.

문제 1에서 드러난 예비 교사들의 대표적인 어려움은 물과 밀도가 같은 물체의 최종 위치 결정이었다. 이러한 어려움은 물에 완전히 잠긴 상태에서 다양한 높이에 위치하는 물체의 차이를 설명하는 어려움과 연결된다. 이와 같은 어려움에 대해서 응답자는 다음과 같이 기술했다.

[학생 28] 중력과 부력이 평형을 이루는 위치에서 물체가 정지해 있을 텐데, 부력은 물체가 물에 잠겨있는 부분의 부피에 비례한다. (중략) 고민이 되는 것은 D가 완전히 물에 잠길지 여부인데 나무토막이 전체 잠겼을 때의 부력의 크기가 중력의 크기와 일치하도록 D의 무게가 정해진다면 물의 표면까지만 잠겨있을지 아니면 물의 중간까지 가라앉을지 아니면 E처럼 아예 가라앉을지 잘 모르겠다.

문제1에 대한 응답을 분석한 결과, 응답자들은 액체와 밀도가 같은 물체의 최종 위치를 특정 위치로 생각하였다. 특정 위치는 물에 ‘완전히 잠긴 채’ 물의 표면, 정중앙, 수조의 바닥이었고, 이유에 대해서는 정확히

설명하지 않았다. 따라서 연구자는 물체의 초기 위치, 즉 초기 운동을 다르게 한 물체를 제시하여(문제2와 문제3), 각각의 최종 위치와 이유를 설명하도록 하였다(그림 3.5).

표 3.3 문항 2와 3에 대한 학생들의 응답 수 (%)

최종위치	A	B	C	D	E	복수 응답	총합
문항2	4(10%)	16(40%)	1(2.5%)	3(7.5%)	10(25%)	6(15%)	40(100%)
문항 3	1(2.5%)	4(10%)	26(65%)	3(7.5%)	4(10%)	2(5%)	40(100%)
총합	5(6.25%)	20(25%)	27(33.8%)	6(7.5%)	14(17.5%)	8(10%)	80(100%)

문제2에 대한 응답은 물체가 수면에 닿은 채 완전히 잠긴 위치인 B가 40%, 물체가 수조 바닥에 닿아 있는 E가 25% 순이었다. 물 속에 위치하며 수면이나 바닥에 닿아 있지 않은 위치는 C(2.5%), D(7.5%)로 상대적으로 적었다. 그리고 과학적으로 옳은 답에 해당하는 다양한 위치가 가능하다는 응답은 15%였다. 반면에 문제3의 경우, 과학적으로 옳은 답에 해당하는 C를 최종 위치로 선택한 응답자들이 전체의 65%로 가장 많았다. 그리고 수면에 물체의 윗부분이 닿은 위치는 10%, 수조의 바닥에 닿은 위치는 10%로 전체의 20%가 수면이나 바닥에 닿아 있는 최종 위치를 선택했다.

물체의 최종 위치에 대한 응답은 다음과 같이 3가지 유형으로 분류할 수 있었다. 첫째는 부력과 중력이 합이 0이 되는 순간 정지한다는 유형, 둘째는 직관적으로 특정 위치를 지칭하는 유형, 셋째는 다양한 위치가 가능하다고 설명한 유형이다(표 3.4).

표 3.4 문항 2와 3에서 나타난 학생들의 설명 유형

단위: N(%)

문항	중력=부력이면 물체가 즉시 정지	특정 위치에서 정지		다양한 위치 가능	기타
		유체 정중앙	유체의 바닥		
문항2	16(40%)	5(12.5%)	8(20%)	7(17.5%)*	4(10%)
문항3	26(65%)*	3(7.5%)	4(10%)	2(5%)	5(12.5%)
총합	42(52.5%)	8(10%)	12(15%)	9(11.25%)	9(11.25%)

과학적으로 설명한 응답 (\*)

- (1) 시스템의 총 에너지 차에 대한 인식 부족과 상호작용의 일부만 고려한 최종 위치 선택

물과 물체의 밀도가 동일할 때, 물체가 물에 완전히 잠기면 물체에 작용하는 부력과 중력의 크기가 같고 방향이 서로 반대이므로 정지한다는 설명에 해당하는 유형이다. 이 유형의 응답자들은 문제2에서는 물에 완전히 잠기는 순간인 B, 문제3에서는 처음 위치인 C를 최종 위치로 이해했다(표 3.4). 해당 유형의 응답은 물체의 운동에 영향을 미치는 상호작용을 부력과 중력만 고려하였다. 물체와 유체의 상호작용은 물체의 윗면과 아랫면에 작용하는 압력의 크기의 차에 의한 부력과 함께 유체의 점성에 의한 쓸림힘의 2가지이다. 유형 1의 응답은 물체와 유체의 상호작용의 일부만 이해한 경우이다. 유형1을 선택한 예비 교사들의 설명은 다음과 같다.

[학생1] 밀도가 같으니까 휘젓지 않는 이상 아래로 갈 이유가 없다.

[학생17] (최종 위치는) 합력이 0이어야 하기 때문에 오랜 시간이 흐르면 (부력과 중력이 같은 순간인) B 위치에 있을 것이다.

\*( ) 안의 내용도 학생이 직접 기술

유형 1은 문제2와 3에서 각각 40%, 65%가 해당되며, 전체 응답의 52.5%가 부력과 중력의 크기 비교로만 물체의 최종 위치를 결정하였다. 또한 문제2에서 유형1에 해당하는 예비 교사들은 문제3에서도 같은 유형의 설명을 반복하는 경향이 가장 컸다.

(2) 직관적으로 특정 위치(정중앙 또는 바닥)를 지칭하는 경우

예비 교사들은 직관적으로 물체의 위치를 물의 정중앙 또는 바닥으로 응답하는 경향을 보였다. 물체가 물의 정중앙에 위치하면 정지한다고 이해한 예비 교사들의 설명은 다음과 같다.

*[학생8] 물체 윗부분을 누르는 액체의 높이에 해당하는 중력을 받고, 그 아래 부분의 물의 부력의 힘을 받는다. 거기에 물체에 작용하는 중력까지 합하면 D 위치에 있을 것 같다.*

*[학생11] 액체와 밀도가 같기 때문에 오랜 시간이 지난 후에 수조의 가운데에 (사방에서 받는 액체의 압력이 동일해져서) 위치할 것 같습니다.*

*\*( ) 안의 내용도 학생이 직접 기술*

학생8은 물체에 작용하는 부력과 압력을 혼동하였는데, 물체 윗면에 작용하는 물의 무게를 중력, 물체의 아랫면에 작용하는 힘을 부력이라 생각했다. 이와 같은 설명의 오류는 물체에 작용하는 힘의 차가 부력이라는 개념에 대한 이해 부족하고, 압력을 힘과 같은 차원으로 이해했기 때문이다. 또한 학생11은 물체가 물의 정중앙에 위치할 때 모든 면에 동일한 압력이 작용하고, 그로 인해 발생한 힘의 평형을 이뤄 물체가 정지한다고 설명했다. 이는 물체에 윗면과 아래에 작용하는 압력의 크기에 대한 부정확한 이해로 인한 오류이다. 즉, 정중앙의 위치를 선택한 응답

자들은 부력과 압력의 개념을 혼동하거나 압력을 잘못 이해하였다.

또한 물체가 ‘바닥에 닿는 순간 정지한다’는 응답은 전체의 15%로, 문제2와 3에서 각각 20%, 10%에 해당된다. 이와 같은 예비 교사들의 대표적인 설명은 다음과 같다.

[학생2] 손을 놓을 경우 중력이 부력보다 커 가라앉게 되고, B에서 중력과 부력이 같다. 그러나 B에서 속도가 아래 방향으로 존재하기 때문에 계속 가라앉아 E에 균형이 성립된다.

[학생13] 물체가 물 밖에 나와 있을 때는 중력이 부력보다 크므로 아래로 가속 운동을 하고 표면에서 완전히 잠기는 순간부터 중력과 부력이 같으므로 등속으로 가라 앉는다.

[학생28] 물체의 중력과 부력이 같아지기 위해서는 A에서 B으로 이동하는 것은 분명하다. 그러나 힘이 평형을 이루었음에도 초기에 A에서 B으로 운동하는 속도가 존재하므로 관성에 의해 E(바닥)까지 이동할 것 같다.

예비 교사들은 물체가 아래 방향으로 이동하다가 바닥에 닿았을 때, 추가적인 설명 없이 정지한다고 설명했다. 응답자들은 수조 바닥과 충돌한 후 물체의 운동에 대한 고려를 하지 않는 경향이 나타났다. 즉, 해당 응답자들은 물 속에서의 물체의 운동 과정에서 발생하는 충돌을 완전 비탄성 충돌로 이해했으며, 유체와의 쓸림힘을 고려하지 않았다. 또한 수조 바닥에서 균형이 성립하기 때문에 바닥에서 멈출 것이라는 의미가 모호한 표현도 사용되었다.

### (3) 시스템에 작용하는 상호작용의 다양성을 고려한 최종 위치 선택

물체의 최종 위치를 한 가지로 응답하지 않고, 변인들에 따른 다양한 형태를 선택한 응답은 전체의 11.25%로 문제2와 3에서 각각 17.5%와 5%였다. 다양한 최종 위치가 가능하다는 설명은 문제3에 적합하지 않지

만, 일부의 예비 교사들은 같은 방식으로 설명하였다. 설명에서 사용된 변인들은 물체와 액체와의 마찰, 초기 위치에 따른 운동상태였으나, 바닥과의 반발계수를 고려한 설명은 소수였다. 즉, 물체의 최종 위치를 밀도에 따른 부력에 한정하지 않고, 고려하는 변수들의 종류와 크기의 조합에 따라 B~E의 위치가 모두 가능하다고 설명하였다. 이 유형의 응답은 물체와 유체와의 상호작용을 모두 고려한 과학적인 응답에 해당한다.

[학생16] 물체와 액체의 밀도가 같을 때, 액체에 완전히 잠기면  
합력은 0이다 따라서 초기조건에 따라서(액체와의 마찰과  
초기 낙하 위치 때문에) 최종적인 위치는 C, D 혹은  
극단적인 경우 B, E의 경우도 가능하다.

\*( ) 안의 내용도 학생이 직접 기술

### 3.4. 결론 및 시사점

본 연구는 서울 소재 사범대학의 물리 전공 예비 교사들의 부력에 대한 이해를 조사하기 위해 진행되었다. 설문은 총 3문항으로, 밀도가 다른 물체의 최종 위치, 액체와 밀도가 같은 물체의 초기 위치에 따른 최종 위치를 묻는 문항으로 구성되었다. 각 문항은 개방형 문항으로 개발되었으며, 부력에 대한 개념 이외에도 압력, 밀도, 그리고 운동방정식의 적용에 대한 예비 교사들의 이해도 확인할 수 있었다.

밀도가 다른 물체의 최종 위치에 대한 문항에서, 예비 교사들은 물에서 물체가 갖는 최종 위치에 대해 다음과 같은 특징이 나타났다. 물체와 물의 밀도 설정이 자유로운 경우, 물과 물체의 밀도를 다르게 가정하여 물체를 배치하는 비율이 높았다. 또한 다른 밀도를 갖는 물체들이 유체에 완전히 잠긴 상태에서 다른 높이에 위치하거나, 유체보다 밀도가 작은 물체가 유체 위에서 동일한 높이에 위치하는 잘못된 설명을 하였다. 이

와 같은 어려움은 물과 밀도가 같은 물체의 최종 위치가 다양하기 때문에 발생한다. 이는 학생들이 뜨고 가라앉는 개념에 대해 부정확한 개념을 갖고 있으며, 과학적으로 현상을 설명하는 데 어려움을 갖고 있다는 선행 연구와 유사한 결과가 나타났다(Stepans et al., 1988; Howe et al., 1990; McKinnon & Renner, 1971; McDermotte, 1996; Heron et al., 2003; Loverude, 2009). 그러나 기존 연구에서는 특정 위치에서 물체에 작용하는 물리적 힘의 크기에 초점을 두었기 때문에, 학생들이 물체의 최종 위치를 결정하는 과정적 이해와 어려움을 확인하기에 부족함이 있었다. 따라서 연구자는 이를 확인하기 위해 유체와 밀도가 같은 물체의 초기 위치를 다르게 하여 정지상태에서 낙하시키는 문항을 제시하였다.

분석 결과에 따르면, 첫째 예비 교사들은 중력과 부력이 동일하면 즉시 정지한다는 유형의 설명을 선호하며, 가장 일관되게 나타났다. 그러나 예비 교사들은 물체가 운동하고 있어도 중력과 부력이 같으면 즉시 정지한다는 잘못된 설명을 하였다. 둘째, 예비 교사들은 물의 특정 위치인 정중앙 또는 바닥을 물체의 최종 위치로 생각하였다. 그들은 물의 정중앙에서 물체에 작용하는 힘이 평형을 이룬다고 설명하거나 바닥과의 충돌을 완전 비탄성 충돌로 설명하였다. 예비 교사들은 유체 내부의 압력의 크기에 대한 이해가 부족하였으며, 문제에 구체적인 조건이 없을 때 변인을 단순화시켜 적용하였다. 셋째, 다양한 최종 위치가 가능하다고 설명한 예비 교사들은, 물체와 유체간의 쓸림힘의 크기와 바닥과의 탄성계수를 고려하여 최종 위치가 다양하게 결정될 수 있다고 설명하였다. 마지막으로 42.5%의 연구 참여자들은 초기 위치가 변하여도 설명을 일관되게 유지했으며, 중력과 부력이 같으면 즉시 정지, 특정 위치에서 정지, 다양한 위치가 가능 순으로 나타났다. 반면, 각 문항을 과학적으로 응답한 예비 교사는 전체의 15%였다. 즉, 연구 참여자들은 문제 풀이 과정에

서 일관된 설명 유형을 고수하려는 경향이 더 컸는데, 예비 교사들에게는 논리의 일관성보다는 상황에 따른 변인의 조작과 적용에 대한 체계적인 학습이 요구된다.

이처럼 예비교사들은 유체로 구성된 시스템에 작용하는 상호작용을 통해 물체의 최종 위치를 이해하는 문제에서 어려움이 나타났다. 이는 학생들이 다수의 유체 분자로 구성된 시스템에서 최종 운동에 영향을 미치는 요인들의 추출과 상호작용을 고려한 시스템의 물리적 상태 해석의 어려움 때문이었다.

이를 토대로 본 연구에서는 물리적 현상을 이해하기 위해 필요한 조건을 제안하기 위한 후속연구를 수행하였다. 본 연구에서는 예비연구를 보완하여 예비교사들의 시스템에 대한 인식과 문제풀이에서의 시스템의 경계 선택을 추가하여 조사하였다.



## 4. 본연구: 시스템 개념에 대한 예비교사의 인식과 문제풀이의 시스템적 이해<sup>2)</sup>

### 4.1. 연구의 필요성 및 목적

교과의 구조를 중심으로 조직화된 지식요소의 활용은 교수-학습에서 다음과 같은 이유로 강조되어 왔다 (이홍우, 1987; 권재술 등 2012; 김보경, 2012). 첫째, 기본 개념 중심으로 학습함으로써 교과를 더 쉽게 이해할 수 있다. 둘째, 소수의 개념을 중심으로 교과를 이해할 수 있기 때문에 학습이 경제적이다. 셋째, 기본 개념을 중심으로 교수-학습을 진행할 수 있기 때문에 효율적이다. 넷째, 초보자와 전문가의 지식 사이의 비교를 통해 학습의 연계성을 도모할 수 있다.

과학교육에서도 단편적인 개념학습에 대한 지적이 계속되어 왔다 (National Research Council, 1996, 2011; 방담이 등, 2013; 이윤하 등, 2014). 여러 교과의 과학개념들 사이의 연계성을 통해 통합적인 사고의 필요성과 다른 개념들과 긴밀히 연관되어 있는 주요 개념을 중심으로 한 학습의 필요성이 제기되고 있다 (National Research Council, 1996, 2011). 시스템은 공통개념 또는 빅 아이디어로서 제시되고 있는 대표적인 개념으로 제안되고 있다 ((The American Association for the Advancement of Science, 1989, 1993, 2001; National Research Council,

---

2) 이 장의 주요 내용은 ‘지영래, 정용욱, 송진웅. (2016). 역학의 보존법칙 문제풀이 과정에서 나타난 대학생들의 계에 대한 이해의 특징 분석’으로 새물리에 게재가 확정된 내용이 포함되어 있다. 해당 논문에서는 예비교사들의 시스템에 대한 인식과 운동량 보존법칙과 역학적에너지 보존법칙의 이해 및 적용에 대한 분석이 포함되어 있다.

1996, 2011; Achieve, 2013)

시스템은 다음과 같은 이유로 교수-학습에서 강조되고 있다. 첫째, 과학자들은 연구 목적에 맞는 시스템을 규정함으로써 연구의 편의성을 향상시킬 수 있다. 실제로 상당수의 연구자들은 이상적으로 고립된 시스템을 사용하여 연구를 설계하고 결과를 해석한다 (National Research Council, 2012). 둘째, 시스템은 물리학을 넘어 여러 교과와 과학개념들 사이의 연결고리 역할을 한다. 특히 시스템은 과학의 주요 개념인 에너지, 물질, 구조, 기능, 안정성, 변화 등과 긴밀히 연관되어 학생의 과학개념 발달에 도움을 준다 (National Research Council, 2012). 셋째, 학생들은 개념을 시스템을 중심으로 학습함으로써 통합적 사고 기술을 습득할 수 있다 (National Research Council, 1996).

시스템의 과학교육적 역할에 대한 위상은 점차 증가하여 해외에서는 국가 과학 교육과정 수립을 위한 기준(standards) 또는 실제 과학 교육과정의 핵심개념으로 채택되고 있다. 싱가포르의 중등 과학 교육과정에서 ‘모형과 시스템(models and system)’을 여섯 가지 주제(theme)의 하나로 선정하였으며, 캐나다 온타리오 주는 ‘시스템과 상호작용(systems and interactions)’을 여섯 가지 본질적 개념(fundamental concept)의 하나로 제시하였다. 미국도 차세대 과학교육표준(Next Generation Science Standards)에서 ‘시스템과 시스템의 모델(systems and system models)’을 일곱 가지 관통개념(crosscutting concepts)의 하나로 제시하였다 (National Research Council, 2012). 하지만 이러한 국외의 과학 교육과정에 제시된 시스템은 과학 전반에 대한 통합적 기능이 강조되어 물리학 내에서 시스템의 교육적 기능과 학습목표는 상대적으로 잘 드러나지 않았다.

선행연구들은 시스템이 물리학의 다양한 영역들에서 서로 다른 개념들과 긴밀히 연계된 개념으로서 물리학습에서 강조되어야 함을 제안하였다. 김은경 등 (2010)은 일과 에너지 등의 개념들이 시스템과 긴밀히 관련되어 있으며 특히 에너지, 운동량, 전하량, 질량보존법칙 등의 적용과 이해를 위해서 시스템의 학습이 필요함을 강조했다. Kohnle 등(2015)은 양자현상 학습에서 추상적이고 이상화된 시스템에 대한 학습이 양자역학 개념 이해의 기초라고 설명하였다. Samiullah (2007)은 열역학의 가역과정에서 엔트로피 보존에서 고립계에 대한 이해를 강조했으며, 이주현 등 (2013)은 비가역 단열과정에서 시스템의 최종상태에 대한 과학고 학생들의 이해를 탐색하였다. 정용욱 등 (2011)은 물리학의 동역학 관계식을 시스템을 포함한 존재론적 분석틀로 에너지 보존과 전환에 대한 학습의 시사점을 제안하였다. 이러한 시스템과 관련된 다양한 선행연구들에도 불구하고, 문제 해결 과정에서 학생들이 시스템의 구성요소를 선택하고 시스템과 주위의 경계를 규정하는 방식(how)과 그 이유(why)를 토대로 물리 법칙 및 개념의 이해를 다룬 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구는 사범대학 물리 전공 학부생들의 보존법칙 적용을 시스템을 중심으로 살펴보았다. 이를 위해 먼저 그들이 정의하는 시스템을 핵심단어를 중심으로 분석하였다. 그리고 운동량 보존법칙과 역학적 보존법칙이 적용되기 위한 조건을 분석하고 이를 시스템을 중심으로 논의하였다. 또한 예비교사들이 시스템을 경계로 작용하는 힘, 일, 열에 대한 이해를 시스템과 관련하여 분석하였다. 이와 같은 연구결과를 토대로 시스템을 중심으로 한 보존법칙 학습에 대한 시사점과 교육적 의의에 대해 논의하고자 한다.

## 4.2. 연구 대상 및 조사 내용

### 4.2.1. 연구대상

본 연구는 서울 소재 사범대학에서 물리교육을 전공하는 학부생을 대상으로 진행되었다. 설문은 2014년 11월 말에서 12월 초에 총 4회에 걸쳐 실시되었으며, 참여자들은 모두 일반 물리학 수준 이상의 물리학 강좌를 수강한 학부생을 63명을 대상으로 하였다. 설문지 A의 경우 일반 물리학만을 이수한 학생은 7명, 일반물리학과 역학을 이수한 학생은 19명, 일반물리학과 역학 그리고 열통계학을 이수한 학생은 4명이었다. 설문지 B의 경우 일반물리학만을 이수한 학생은 10명, 일반물리학과 역학을 이수한 학생은 19명, 일반물리학과 역학 그리고 열통계학을 이수한 학생은 4명이었다. 또한 설문에 참여한 학생 6명을 선정하여 2015년 7월에서 8월 사이에 약 60분에 걸쳐 심층면담을 실시하였다.

표 4.1. 설문 참여 학생의 기본 정보

이수과목	설문지 A	설문지 B
일반물리학	7	10
일반물리학, 역학	19	19
일반물리학, 역학, 열통계학	4	4
총합	30	33

자료를 수집하기에 앞서 연구 참여자에게 연구윤리에 관련된 사항을 [부록3]의 연구참여자용 설명서 및 동의서의 내용을 토대로 설명하였다.

이후 연구에 참여하는 학생들은 동의서에 서명을 받았다.

자료 수집 절차는 두 단계로 진행되었다. 먼저 시스템에 대한 인식과 보존법칙 문제풀이에 대한 학생들의 이해를 조사하기 위하여 개방형 설문지를 투입하고 구체적으로 작성하도록 하였다. 이후 설문지의 응답을 바탕으로 설문의 내용에 대한 반 구조화된 개별 면담을 실시하였다. 설문지의 개발 절차는 ‘4.2.2. 설문지 개발’에서 자세히 제시하였다.

면담을 위해 설문에 참여한 학생들 중 시스템에 대한 인식이 두드러진 차이가 나타난 후보자를 선정하였다. 면담은 해당 후보자들에게 참여 의사를 묻고 면담에 참여 의사를 밝힌 6명을 대상으로 실시하였다. 면담은 개인별로 약 60분에 걸쳐 실시되었다. 설문과 면담은 약 8개월의 시간 간격을 두고 진행되었기 때문에 설문 내용을 통한 학습의 영향을 고려하지 않았다. 면담은 녹음, 전사되었으며 면담 과정에서 연구자는 참여자의 설명을 메모지에 기록하여 참여자가 의도를 확인하는 과정을 수행하였다. 피면담자는 연구자가 기록한 내용을 반복하여 확인하는 과정을 통해 자신의 의도와 다른 경우 수정하거나 자신의 설명을 다시 진술하였다. 본 연구에서는 연구 참여자의 인권 보호를 위해 가명을 사용하였다.

#### 4.2.2. 설문지 개발

설문지는 2개의 세트로 개발되었다 (표 4.2.와 4.3.). 설문지 A와 B는 시스템에 대한 인식을 조사하기 위해 시스템의 정의와 분류 기준을 공통 문항으로 제시하였다. 설문지 A와 B는 고립계와 비고립계에서의 보존법칙 문제풀이로 분류된다.

설문지 A는 역학의 보존법칙인 운동량 보존법칙, 각운동량 보존법칙,

역학적에너지 보존법칙에 관한 내용으로 구성되었다. 문제풀이에 앞서 학생들에게 각 보존법칙이 적용되기 위한 조건을 기술하도록 요구하였다. 이후 문제풀이 과정에서 시스템 사용 여부를 묻고 시스템을 사용하거나 사용하지 않은 이유를 설명하도록 요구하였다. 또한 시스템을 선택하고 문제를 푼 경우 시스템의 구성요소를 선택하도록 하고 학생들이 생각하는 시스템의 선택 기준을 분석하였다. 마지막으로 역학의 고립계에서 적용되는 보존법칙에서 중요한 개념인 내력과 외력의 분류 기준을 설명하도록 요구하였다.

설문지 B는 비고립계에서 적용되는 보존법칙인 열역학 제 1법칙과 베르누이 법칙에 관한 내용으로 구성되었다. 설문지 A와 마찬가지로 문제풀이에 앞서 학생들에게 각 보존법칙이 적용되기 위한 조건을 기술하도록 요구하였다. 또한 외력이 작용하는 단열과 비단열 시스템의 내부에너지 변화를 역학적에너지 변화와 비교하도록 하였다. 마지막으로 베르누이 법칙에 대한 문제는 정해진 시스템을 제공하고, 시스템의 양 단면에서 작용하는 압력과 일의 크기를 비교하도록 하였다.

표 4.2. 설문지 A의 범주와 세부 문항

대범주	하위범주	세부 문항
시스템	정의	과학에서 시스템 또는 시스템의 정의는 무엇인가?
	분류기준	시스템의 분류기준은 무엇인가?
보존법칙 전제조건	선운동량	선운동량 보존법칙의 전제조건은 무엇인가?
	각운동량	각운동량 보존법칙의 전제조건은 무엇인가?
	역학적에너지	역학적에너지 보존법칙의 전제조건은 무엇인가?
내력과 외력	분류기준	내력과 외력의 분류기준은 무엇인가?
	분류의 필요성	내력과 외력을 분류해야 하는 이유는 무엇인가?
문제풀이	시스템의 선택	문제풀이에서 규정한 시스템의 구성요소는 무엇인가?
	시스템을 선택한 이유	문제풀이에서 시스템을 그렇게 규정한 이유는 무엇인가?

표 4.3. 설문지 B의 범주와 세부 문항

대범주	하위범주	세부 문항
시스템	정의	과학에서 시스템 또는 시스템의 정의는 무엇인가?
	분류기준	시스템의 분류기준은 무엇인가?
보존법칙 전제조건	열역학 제 1법칙	열역학 제 1법칙의 전제조건은 무엇인가?
	베르누이 법칙	베르누이 법칙의 전제조건은 무엇인가?
시스템 내부의 에너지 비교	분류기준	역학적 일과 열역학적 일의 정의는 무엇인가?
	에너지	고립계와 닫힌계에서의 에너지 변화는 어떠한가?
문제풀이	내부에너지	단열계와 비단열계에서의 내부에너지 변화는 어떠한가?
	자유팽창	자유팽창 과정에서의 열역학적 일은 어떠한가?
	압력과 일	면적이 다른 두 단면에 작용하는 압력과 일의 크기는 어떠한가?

## 4.3. 연구 결과 및 논의

### 4.3.1. 예비교사의 시스템 이해

#### (1) 핵심어를 중심으로 살펴본 시스템에 대한 인식

시스템에 대한 예비교사들의 기초 지식을 확인하기 위하여 ‘과학에서 사용되는 시스템의 정의’에 대한 예비교사들의 서술형 응답을 분석하였다. 이를 위해 예비교사의 응답과 관련되는 핵심어를 귀납적으로 추출한 후에 예비교사들의 응답을 범주화하였다. 그 결과 예비교사들은 ‘공간



(space)', '물질과 에너지(matter & energy)', '상호작용(interaction)', '관찰(observation)'을 핵심어로 사용하여 시스템을 규정하는 특징을 보였다. 이를테면 “어떤 법칙이 적용하는 공간”이라는 예비교사의 응답에서 ‘공간’이라는 핵심어를 추출하였다. 한 응답에서 둘 이상의 핵심어가 추출되기도 하였다. 이를테면 “에너지와 물체가 존재하는 독립적 공간”이라는 응답에서는 핵심어로 ‘물질과 에너지’와 ‘공간’이 추출되었다. 또한 “물리적 상호작용이 일어나는 공간”이라는 응답에서는 ‘상호작용’과 ‘공간’이 추출되었다. 한편 “관측자가 관심 있게 본 대상들을 묶은 개념”이라는 응답에서는 ‘에너지와 물질’, ‘관찰’이 추출되었다.

추출된 핵심어를 바탕으로 개별 예비교사들이 시스템의 정의에서 사용된 핵심어의 조합을 범주화하여 나타낸 결과는 표 4.3의 오른쪽과 같다. 예비교사들은 2가지 핵심어의 조합과 관련하여 시스템을 규정하는 빈도(43.3%)가 가장 높았으며, 구체적으로는 ‘공간+물질과 에너지’, ‘공간+상호작용’, ‘공간+관찰’, ‘물질과 에너지+관찰’의 조합이 나타났다. 예비교사들이 제시한 계의 규정은 한가지의 핵심어에만 관련되기도 하였으며 (20.0%) 이 때 관련된 핵심어는 ‘공간’과 ‘물질과 에너지’였다. 3가지 이상의 핵심어(공간+물질과 에너지+관찰)와 관련하여 시스템을 규정한 응답도 있었다.

추출된 핵심어를 바탕으로 예비교사들의 응답을 중복으로 세어서 응답빈도를 구한 결과 시스템을 공간(31.1%)과 관련하여 규정하려는 경향이 가장 컸으며, 물질과 에너지(24.4%), 관찰(13.3%), 상호작용(8.9%)의 순으로 응답빈도가 낮아졌다.

표 4.4 과학에서의 시스템에 대한 예비교사들의 정의

시스템에 대한 설명에서의 핵심어			핵심어의 조합으로 설명		
범주	응답 수	%	범주	응답 수	%
공간 (S)	14	31.1	S+ME	4	13.3
물질과 에너지 (ME)	11	24.4	S	4	13.3
관찰(O)	6	13.3	ME+O	3	10
상호작용 (I)	4	8.9	S+I	3	10
기타	1	2.2	S+O	2	6.7
무응답	9	20.0	ME	2	6.7
			ME+I	1	3.3
			S+ME+O	1	3.3
			기타	1	3.3
			무응답	9	30.0
총합	45#	100.0	총합	30	100.0

- 예비교사들의 응답을 중복체크 하였음.

시스템의 규정에 대한 예비교사들의 응답을 보다 분석적으로 탐색하기 위해 본 연구는 교육과정 문건 등 시스템에 대한 이론적 논의를 다룬 기존 문헌들의 계에 대한 규정을 조사하였다. 예를 들어 Bertalanffy(1950)는 시스템을 ‘상호작용하는 요소들의 복합체’로, National Research Council(2012)는 ‘관련이 있는 물체나 전체를 이루는 요소들로 구성된 그룹’으로 정의하였다. 이러한 정의들로부터 시스템의 정의와 관련된 핵심어를 추출한 결과는 표 4.4와 같다. 즉 기존의 문헌들에서 시스템은 상호작용, 부분(혹은 요소), 집합, 기능이라는 핵심어와 관련되어 정의되었다.

이러한 문헌분석과 시스템의 정의에 대한 예비교사들의 응답을 비교한 결과, 다음과 같은 특징이 도출되었다. 첫째, 많은 예비교사들이 (31.1%) 시스템을 공간(space)과 관련하여 설명한 반면, 기존의 문헌들에서는 시스템을 정의할 때 공간이 중요하게 부각되지 않았다. 둘째, 문헌들에서는 최근의 교육과정 문서들을 중심으로 시스템의 전체로서의 기능(function)에 대한 이해가 강조되는 반면, 예비교사들은 시스템의 기능과 관련한 언급을 하지 않았다. 이를테면 The American Association for the Advancement of Science(1993)는 시스템을 “임의의 기능을 수행하기 위해 상호작용하는 사물과 과정의 집합체”로 정의하며 기능과 관련된 창발성(emergent property)에 대한 이해를 강조하였지만, 예비교사들의 시스템에 대한 규정에서 기능에 대한 논의는 발견되지 않았다. 결과적으로 예비교사들의 시스템에 대한 규정은 문헌들의 규정과 상당히 다른 양상을 보였다.

표 4.5 선행연구에서의 시스템의 정의

Source	Interaction	Parts	Group	Function
Von Bertalanffy (1968)	O	O	O	
Krammer & Smith (1977)	O	O	O	
Science for All Americans (AAAS, 1989)	O	O	O	
Benchmarks for Science Literacy (AAAS, 1993)	O	O	O	O
National Science Education Standards (NRC, 1996)	O	O	O	
Kali et al. (2003)	O	O		
International Technology Education Association (2007)	O	O	O	O
A Framework for K-12 Science Education (NRC, 2011)	O	O	O	O

한편 시스템의 분류와 관련한 학생의 이해를 조사하기 위해 고립계, 닫힌계, 열린계의 정의에 대한 학생의 응답을 분석하였다. 고립계, 닫힌계, 열린계는 각각 주위와 물질 및 에너지의 교환이 없는 시스템, 주위와 에너지는 교환하지만 물질은 교환하지 않는 시스템, 주위와 물질과 에너지를 모두 교환하는 시스템을 말한다. 학생들의 답변으로부터 범주를 추출하는 예시는 다음과 같다. 예를 들어 고립계에 대해 “외부와 어떤 상호작용도 없는 시스템”으로 설명한 학생의 응답에서 ‘주위와 상호작용 없음’ 범주를 “외부와 에너지 출입 없고 물질의 출입도 없는 시스템”이라는 응답에서 ‘에너지와 물질의 이동 없음’ 범주를 추출하였다. 또한 닫힌계를 “외부와 상호작용 없음”으로 설명한 응답에서 ‘외부와 상호작용 없음’ 범주를 “에너지의 교환은 일어날 수 있고 물질의 교환은 일어날 수 없는 시스템”은 ‘주위와 에너지 교환되지만 물질의 교환은 없음’ 범주를 추출하였다. 마지막으로 열린계에 대한 “에너지, 물질 모두 통과가 가능한 시스템“, “에너지, 물질 모두 교환이 일어날 수 있는 시스템”이라는 응답에서 ‘주위와 에너지, 물질 교환’을 추출하였다. 고립계, 닫힌계, 열린계의 정의에 대한 학생의 응답을 범주화한 결과는 표 4.6과 같다.

우선 열린계, 고립계, 닫힌계에 대한 과학적 응답률은 30% 이하로 낮았으며, 과학적 응답률은 열린계(30.0%) > 고립계 = 닫힌계(26.7%) 순으로 나타났다. 이러한 학생들의 낮은 정답률은 상호작용의 양상에 대한 세분화된 이해의 부족과 관련되는 것으로 해석될 수 있다. 과학적 의미의 고립계, 닫힌계, 열린계는 물질과 에너지의 교환을 모두 고려할 때 온전히 구별될 수 있다. 그런데 학생들은 이들 시스템을 정의할 때 물질과 에너지의 교환을 모두 고려하는 대신에 에너지 교환만을 따지거나, 단순히 주위와의 상호작용 여부를 바탕으로 정의하는 경우가 많았다. 실제로 물질과 에너지의 교환을 모두 고려한 학생들은 대부분 열린계, 고립계,

단히계를 정확히 정의하였다. 반면에 두 가지 종류의 상호작용을 고려하지 못한 학생들은 대부분 이들 계에 대해 잘못된 정의를 제시하였다.

표 4.6 시스템의 유형에 따른 예비교사들의 정의 N(%)

범주		고립계	단히계	열린계
주위와의 에너지 교환	가능	0(0)	2(6.7)	3(10.0)
	불가능	5(16.7)	1(3.3)	0(0)
주위와 에너지와 물질 교환	가능	0(0)	0(0)	9(30.0)*
	불가능	8(26.7)*	1(3.3)	0(0)
주위와 에너지 교환 가능, 물질 교환 불가능		1(3.3)	8(26.7)*	1(3.3)
주위와의 상호작용	가능	0(0)	0(0)	5(16.7)
	불가능	4(13.3)	4(13.3)	0(0)
Etc.		4(13.3)	3(10.0)	2(6.7)
No response		8(26.7)	11(36.7)	10(33.3)
Total		30(100.0)	30(100.0)	30(100.0)

\* 과학적 개념

#### 4.3.2. 시스템에 기반한 예비교사의 문제풀이 과정 분석

##### (1) 보존법칙의 성립조건에 대한 응답 분석

본 연구에서는 선운동량 보존, 각운동량 보존, 역학적 에너지 보존, 열역학 제 1법칙이 적용되는 일반적인 조건을 물어서 학생의 응답을 조사하였다. 먼저 ‘선운동량 보존법칙’과 ‘각운동량 보존법칙’이 적용되는 조건에 대한 학생들의 응답을 범주화하여 분석한 결과는 표 4.7과 같다. 선운동량 보존이 성립하는 조건에 대한 학생들의 응답은 크게 힘과 관련된 서술(25건), 에너지 관련 서술(3건), 기타(3건) 등으로 구분되었다. 예를 들어, “외력이 작용하지 않을 때”, “시스템의 외부에서 외력이 가해지지 않을 때”, “운동 방향으로 외력이 작용하지 않을 때” 등의 응답을 힘 관련 서술로 분류하였다. 또한 “외부 시스템과의 에너지 교환이 없어야 한다”, “시스템 내에서의 에너지 손실이 없을 때” 등의 응답을 에너지 관련 서술로, “같은 관성계에서의 운동일 경우”, “반발계수=1”, 등을 기타 서술로 분류하였다.

학생의 응답에서 힘과 관련된 서술이 압도적으로 많았고, 힘과 관련된 서술들은 구체적으로는 ‘외력이 없음’, ‘알짜힘이 0’, ‘마찰력 없음’, ‘중심력 작용’으로 다시 분류되었다. 이중에 ‘외력이 없음’(21건), ‘알짜힘이 0’은 선운동량 보존의 조건으로 타당한 응답이라 할 수 있다<sup>3)</sup>.

한편 각운동량 보존법칙의 성립 조건에 대한 학생들의 응답은 크게 힘과 관련된 서술 (14건, 40.1%), 토크와 관련된 서술 (8건)이 많았고, 시스템과 관련된 서술, 에너지와 관련된 서술도 일부 있었다. 선운동량 보

---

3) 운동량 보존의 조건으로 많은 교재는 외력의 부재를 제시한다. 그렇지만, 운동량 보존을 다루는 많은 예제들은 외력이 없는 상황보다는 외력은 있지만 계에 작용하는 외력의 알짜힘, 혹은 알짜힘의 특정 성분이 영인 상황과 관련된다. 이런 점에서 ‘외력이 없음’, ‘알짜힘이 0’ 이외의 응답을 무조건 틀린 것으로 문제삼을 수는 없다.

존의 조건에 대한 응답에 비해 기타로 분류되는 응답과 무응답의 비율도 높은 편이었다. 또한 힘과 관련한 응답 중에서 각운동량 보존의 적절한 조건이라고 할 수 있는 중심력을 제시한 응답은 오직 한 건이었다. 여기에 외력에 의한 토크가 영, 알짜토크가 영, 외력에 의한 알짜토크가 영이라는 응답유형을 합쳐도 모두 8건에 그쳤다. 반면에 13명의 학생이 각운동량 보존의 조건으로 외력이 없음, 마찰력이 없음과 같은 부적절한 응답을 제시하였다. 이와 같이 각운동량 보존의 조건을 선운동량의 경우처럼 외력의 부재와 연결하는 것은 부적절하다. 교재에서 대표적으로 다루어지는 각운동량 보존의 사례는 외력이 부재한 상황보다는 중심력이라는 외력이 작용하는 상황, 혹은 외력이 작용하더라도 그로 인한 토크는 없는 상황이기 때문이다. 결과적으로 본 연구에서 학생들은 각운동량 보존이 성립하는 조건을 정확히 제시하지 못하였다<sup>4)</sup>.

---

4) 엄밀하게 말하면 지금까지의 논의는 입자의 각운동량 보존에 대한 것이고 입자계의 각운동량 보존의 성립조건은 보다 복잡하다. 이를테면 입자계의 각운동량은 외력 없이 강한 형태의 제3법칙을 만족하는 내력이 작용할 때 보존된다. 그런데 본 연구의 학생들의 응답 중에는 입자계의 각운동량 보존에만 관련되는 것으로 볼 수 있는 것이 없었다. 그래서 본 연구는 학생의 응답을 입자의 각운동량 보존이라는 맥락으로 제한해서 해석했다.

표 4.7 선운동량 및 각운동량 보존법칙의 전제조건에 대한 응답 수 (%)

	범주	선운동량	각운동량
힘	외력이 없음	21(61.8)	10(28.6)
	알짜힘이 0	1(2.9)	0(0)
	마찰력이 0	3(8.8)	3(8.6)
	중심력이 작용할 때	1(2.9)	1(2.9)
돌림힘	외부 돌림힘이 없음	0(0)	4(11.4)
	알짜 돌림힘이 0	0(0)	1(2.9)
	외부 모멘트가 없음	0(0)	1(2.9)
	알짜 외부 돌림힘이 0	0(0)	2(5.7)
시스템	단한계일 때	0(0)	1(2.9)
에너지	교환 없음	3(8.8)	1(2.9)
	기타	3(8.8)	6(17.1)
	무응답	2(5.9)	5(14.3)
	총합	34(100.0)	35(100.0)

- 학생들의 응답을 중복체크 하였음.

한편 ‘역학적 에너지 보존법칙’이 적용되는 조건에 대한 학생들의 응답의 특징을 범주화한 결과는 표 4.8과 같았다. 학생들의 응답은 크게 힘과 관련된 서술(17건), 에너지 관련 서술(5건), 시스템을 명시한 서술(2건), 기타 및 무응답(13)건으로 나뉘었다. 힘과 관련된 조건 제시는 ‘외력이 작용하지 않을 때’(12건)가 가장 많았으며 ‘보존력만 작용할 때’(4건)가 뒤를 이었다. 이중에서 보존력과 관련된 응답은 적절한 응답이라고 볼 수 있지만 단순히 외력의 부재는 역학적 에너지 보존의 (충분조건을 만족하지만) 적절한 조건이라 하기 힘들다. 비탄성 충돌, 마찰력과 관련된 많은 사례들이 외력의 부재 속에서 역학적 에너지의 손실을 나타낼 수 있기 때문이다. 또한 역학적 에너지 보존의 조건에 대해 에너지와 관련된 응답을 제시하는 것도 적절한 응답이라 보기 힘들다. 이를테면 “에



너지 출입이 없을 때”와 같은 에너지 관련 응답은 적절한 조건의 제시보다는 에너지 보존에 대한 동어반복에 가깝기 때문이다. 시스템과 관련된 “닫힌계”, “단열계”라는 응답도 비탄성 충돌의 사례에서 보듯이 역학적 에너지 보존에 대한 적절한 조건 제시라고 보기 힘들다.

한편으로 에너지 보존의 양상은 크게 시스템의 경계에서 일어나는 에너지의 전이(transfer)와 시스템 안에서 에너지의 형태가 바뀌는 에너지 전환(transform)으로 구분할 수 있다. 이러한 구분에서 퍼텐셜에너지가 관련되는 역학적 에너지 보존은 에너지 전환이 중요하게 된다. 그런데 에너지와 관련된 학생들의 응답들은 주로 에너지 전이와 관련되며, 에너지 전환은 학생들의 응답에서 잘 드러나지 않았다. 또한 퍼텐셜 에너지는 관련된 힘이 보존력일 때에만 정의되므로 보존력의 유무는 역학적 에너지 보존의 중요한 조건이 되지만, 본 연구에서는 오직 4명만이 보존력을 언급하는 데 그쳤다.

표 4.8 역학적에너지 보존법칙의 전제조건에 대한 응답 수 (%)

범주		응답 수(%)
힘	외력이 없음	12(34.3)
	보존력만 작용	4(11.4)
	마찰력 없음	1(2.9)
시스템	에너지 교환 없음	3(8.6)
	에너지 열 교환 없음	1(2.9)
	내부에너지 일정	1(2.9)
	닫힌계	1(2.9)
	단열계	1(2.9)
	관성계	1(2.9)
외부에서의 충격 없음		1(2.9)
기타		3(8.6)
무응답		6(17.1)
총합		35(100.0)

- 학생들의 응답을 중복체크 하였음.

마지막으로 열역학 제 1법칙이 적용될 수 있는 시스템에 대해 예비교사들은 다음과 같이 응답하였다. 가장 많은 수의 예비교사들은 열역학 1법칙이 적용 가능한 시스템에 대해 응답하지 못했다(44.1%). 이는 표 4.4에서의 결과에서와 같이 시스템을 설명하지 못했던 30%를 상회하는 수치이다. 적용 가능한 시스템에 대한 응답은 ‘닫힌계(23.5%)’, ‘고립계와 단열계(8.8%)’ 또는 ‘단열계(8.8%)’ 순으로 나타났다. 그리고 열린계, 모든계, 고립계 등에서 법칙이 적용될 수 있다는 응답이 일부 나타났다.

예비교사들의 응답을 자세히 살펴보기 위해 열역학 1법칙이 적용되기 위한 조건에 대해서 알아보았다. 가장 많은 예비교사들이 적용 조건에 대해 응답하지 못하였다(64.7%). 이는 열역학 1법칙이 적용 가능한 시스템을 답하는 문항보다 높은 수치이다. 무응답 이외에 가장 많은 응답으로는 외부와의 열 교환이 없음(17.6%)이었으며, 소수의 예비교사들이 외부에서의 일이 0이거나 마찰이 작용하지 않아야 한다고 응답했다.

표 4.9 열역학 1법칙 적용 가능한 시스템에 대한 응답

열역학 1법칙 적용 가능 시스템	응답자 수(%)
닫힌계	8(23.5)
고립계, 단열계	3(8.8)
단열계	3(8.8)
열린계	2(5.9)
단열계, 닫힌계	1(2.9)
모든계	1(2.9)
고립계	1(2.9)
무응답	15(44.1)
총합	34(100)

표 4.10 열역학 1법칙이 적용되기 위한 조건에 대한 응답

열역학 1법칙 적용 조건	응답자 수(%)
외부와의 열 교환 없음	6(17.6)
외부에서의 일이 0	1(2.9)
외부에서의 일 0, 외부와 열 교환 없음	1(2.9)
열린계	1(2.9)
마찰 없음	1(2.9)
고립계	1(2.9)
기타	1(2.9)
무응답	22(64.7)
총합	34(100)

## (2) 적용하는 법칙을 고려하지 못한 시스템의 구성요소 선택

(a) 오른쪽 그림에서 질량  $m$ 인 사람이 지면에 정지해 있는 질량  $M$ 인 수레에 올라타고 있습니다. 수레에 타기 직전의 사람의 수평방향 속도가  $v$ 였다면, 수레에 오른 후에 수레와 사람의 수평방향 속도를 운동량 보존법칙을 이용하여 설명해 주세요(단, 지면과 수레 사이의 마찰은 없습니다).

(b) 아래 그림과 같이 질량이 각각  $4\text{kg}$ ,  $1\text{kg}$ 인 물체 A, B가 질량을 무시할 수 있는 일정한 길이의 실로 연결되어 정지해 있습니다. 이 때 물체 A에 그림과 같이 **일정한 힘  $F=50\text{N}$** 이 작용하고 있습니다(단, 중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 이고, 모든 마찰력과 공기저항은 무시한다). 정지해 있던 물체 A, B가  $10\text{m}$  이동하였을 때, 역학적에너지의 변화 여부를 아래에서 고르고, 그 이유를 설명하세요.

① 보존된다    ② 보존되지 않는다    ③ 기타

그림 4.1 보존법칙 문제풀이 과정에서 사용한 시스템의 구성요소 선택과 이유에 관한 문항

보존법칙을 이해하고 적용하기 위해서는 시스템의 구성요소를 적절히 선택하고, 또한 외력과 내력을 필요에 따라 정확히 구분할 필요가 있다. 또한 학생들은 보존법칙의 성립조건으로 외력의 부재를 가장 빈번하게 제시하였다. 보존법칙은 시스템 내부의 물리량이 보존됨을 의미하는 것이기 때문에 보존의 유무를 따지기 전에 시스템의 규정이 선행되어야 한다. 이때 시스템의 선택, 구성요소 선정, 내력과 외력 사이의 구분에서의 실수는 보존법칙의 잘못된 적용으로 이어질 수 있다. 이러한 인식에서 본 연구는 그림 4.1의 선운동량 보존 문제 상황과 에너지 관련 문제 상황을 제시하고 학생들이 문제풀이 과정에서 어떻게 시스템의 구성요소를 선택하고 내력, 외력을 구분하는지를 조사하였다.

그림에서 선운동량과 관련된 문항 (a)는 정지해 있던 질량  $M$ 인 수레에 수평방향 속도  $v$ 로 질량  $m$ 인 사람이 착지한 후의 나중 속도를 구하

는 문제이다. 이 때 수레와 사람 사이의 마찰력은 있지만 수레와 지면과의 마찰력은 없다. 에너지와 관련된 문항 (b)는 50N의 외력이 물체 A에 작용할 때 물체 A, B의 역학적 에너지 변화 여부를 묻는 문항이다. 학생들은 문제 (a), (b)를 풀고 이 문제들을 해결할 때 시스템을 이용했는지를 답하도록 요구받았다. 시스템을 이용한 경우에는 문제를 풀 때 선택한 시스템의 구성요소, 시스템을 그와 같이 규정한 이유를 쓰고, 시스템을 이용하지 않은 경우는 그 이유를 설명하도록 하였다. 또 (a), (b)의 상황에서 작용하는 힘을 모두 표기하고 내·외력을 구분하도록 하였다.

위의 질문들에 대한 응답들을 종합하여 운동량보존 상황에 대한 학생들의 문제풀이 과정을 범주화하여 표 4.11에 제시하였다. 문제풀이에서 시스템을 이용하였다는 응답은 20건 (60.6%), 시스템을 이용하지 않고 문제를 풀었다는 응답은 9건 (27.3%)이었다. 시스템을 이용하였다는 응답 중에서는 시스템의 구성요소로 사람과 수레를 제시한 응답이 17건, 사람, 수레, 지면을 언급한 응답이 3건 있었다. 시스템의 구성요소를 그와 같이 잡은 이유에 대해서는 “관심을 갖는 대상이므로”, “접촉을 통해 상호작용을 하므로”, “외부힘이 작용하지 않도록 하려고” 등의 응답이 제시되었다. 한편 시스템의 설정 없이 문제를 풀었다고 응답한 학생들은 그 이유로 시스템에 익숙하지 않기 때문(5건), 자신의 풀이방식이 시스템을 사용하지 않기 때문(2건) 등의 이유를 제시하였다.

이러한 학생들의 응답 특징으로부터 두 가지 문제점을 찾을 수 있다. 첫째로 연구 참여자 중에서 선운동량 보존 상황의 문제를 풀면서 시스템의 요소를 선택한 이유로 외력이 작용하지 않도록 하기 위해서라는 응답을 명시적으로 제시한 학생이 한명에 그쳤다. 이것은 대부분의 학생들이 선운동량 보존을 정확히 적용하여 문제를 풀었다는 것과 대비된다. 즉 학생들은 선운동량 보존을 적절히 적용하여 문제를 풀어냈지만 선운동량

적용의 논리적 시작점이라고 할 시스템의 선택과 관련해서는 적절한 서술을 제시하지 못하고 있었다. 둘째로 시스템의 규정 없이 운동량 보존을 적용하는 것은 개념적 오류에 해당한다. 운동량 보존은 기본적으로 (알짜)외력이 0인 시스템에 적용되는 것이기 때문이다. 그럼에도 9명의 학생이 선운동량 보존의 문제 풀이에서 시스템을 사용하지 않았다고 응답하는 문제를 보였다.

표 4.11 문항 (a) 풀이 과정에서 사용한 학생들의 시스템의 구성요소와 이유

시스템의 구성요소		구성요소 선택 이유	응답 수(%)
시스템을 사용하여 문제풀이	수레, 사람	관찰대상	4 (12.1)
		접촉에 의한 상호작용	3(9.1)
		상호작용	3(9.1)
		계산과 운동 기술의 편의성	2(6.1)
		내력을 무시하기 위해	1 (3.0)
		외력을 무시하기 위해	1 (3.0)
		무응답	3(9.1)
	수레, 사람, 지면	관찰대상	1 (3.0)
		접촉에 의한 상호작용	1 (3.0)
		무응답	1 (3.0)
시스템을 사용하지 않고 문제풀이		시스템을 잘 모르겠음	5 (15.2)
		문제풀이 과정만 안다.	2(6.1)
		기타	4 (12.1)
		무응답	2(6.1)
		총합	33(100.0)

# 학생들의 응답을 중복체크 하였음.

한편 역학적 에너지의 변화여부를 묻는 문항에 대한 학생들의 문제풀이 과정을 범주화한 결과를 표 4.12에 제시하였다. 문제풀이에서 시스템을 이용하였다는 응답은 18건, 시스템을 이용하지 않고 문제를 풀었다는 응답은 4건, 시스템의 이용여부에 대한 무응답은 9건이었다. 시스템을 이용하였다는 응답에서는 시스템의 구성요소로 물체 A와 물체 B(6건), 물체 A와 물체 B와 줄(4건) 등이 제시되었다. 그림 4.1에서 문제와 함께 주어진 그림에 나타난 객체들은 물체 A, 물체 B, 도르레, 줄, 지면이었고 이들의 다양한 조합이 시스템으로 제시되었다. 시스템의 구성요소를 응답과 같이 제시한 이유에 대해서는 관심을 갖는 대상(6건)이라는 응답이 많았고, 이유에 대한 무응답(7건)도 많은 편이었다. 또한 시스템의 선정 이유에 대해 “역학적 에너지에 관여하는 물체들이기 때문에”와 같이 학생들의 심층적인 이해를 확인할 수 있는 응답은 없었다. 한편 시스템의 설정 없이 문제를 푼 학생들은 자신의 풀이방식의 이유로 시스템의 개념상의 어려움(3건), 보존법칙과 시스템은 관련 없음(1건) 등의 이유를 언급하였다. 개념상의 어려움과 관련된 학생들의 응답은 “시스템을 어떻게 활용해야 할지 모르겠다”, “사실 시스템이 뭔지 모르겠다” 등이 있었으며, “중력은 보존력이므로 에너지 보존법칙이 당연히 성립한다”와 같이 시스템의 설정과 무관하게 보존법칙의 성립 조건이 만족된다는 응답도 있었다.

한편으로 시스템의 요소를 규정하여 문제를 풀었다고 답한 학생들 중에서 시스템의 요소로 지면(혹은 지구)을 포함한 경우(4건)보다 포함하지 않은 경우(11건)가 더 많았다. 두 가지 경우에 따라 중력에 의한 퍼텐셜에너지가 어느 객체에 속하는지가 달라질 수 있다. 전통적으로는 퍼텐셜에너지를 물체에 속하는 것처럼 표현한다. 즉 통상의 물리학 교재에서는 “물체 A의 퍼텐셜 에너지”와 같이 퍼텐셜 에너지가 물체에 온전히

속하는 것처럼 기술한다. 그런데 엄밀히 말할 때 퍼텐셜에너지는 물체와 지구로 이루어지는 전체 시스템에 속하는 것이며 최근에 시스템을 강조하는 에너지 교수학습 논의는 이러한 입장을 강조한다. 결국 학생들의 시스템의 규정은 퍼텐셜에너지의 소속에 대한 전통적인 관점과 가까운 것으로 해석할 수 있다.

한편으로 에너지의 변화여부를 따지는 문제에 대해 시스템을 규정하지 않고 풀었다는 응답은 개념적 오류를 포함하고 있는 것이다. 에너지란 곧 시스템이 갖는 에너지이므로 에너지의 변화여부를 따지는 것은 암묵적으로라도 시스템의 규정을 전제하는 것이기 때문이다.

표 4.12 문항 (b) 풀이 과정에서 사용한 학생들의 시스템의 구성요소와 이유

시스템의 구성요소		구성요소 선택 이유	응답 수(%)
시스템을 사용하여 문제풀이	A, B	관찰대상	3(9.7)
		무응답	3(9.7)
	A, B, 줄	관찰대상	1(3.2)
		계산과 운동 기술의 편의성	1(3.2)
		무응답	2(6.5)
	A, B, 지면	무응답	1(3.2)
	A, B, 지면, 도르레	관찰대상	1(3.2)
		접촉에 의한 상호작용	1(3.2)
	전체	관찰대상	1(3.2)
	A, B, 내력	무응답	1(3.2)
	기타		3(9.7)
시스템을 사용하지 않고 문제풀이		시스템의 개념을 모른다.	3(9.7)
		보존법칙은 항상 적용됨.	1(3.2)
무응답			9(29.0)
총합			31(100.0)

- 학생들의 응답을 중복체크 하였음.



문제풀이 과정에서 나타난 개념에 대한 이해는 개념에 대한 선언적 지식과 차이가 날 수 있다. 이를테면 내력과 외력을 올바르게 정의할 수 있더라도, 그것을 문제상황에 맞게 적용하는 것은 별개일 수 있다. 본 연구에서도 이러한 불일치를 찾을 수 있었다. 이를테면 [학생 1]은 내력과 외력의 정의를 바르게 기술했지만, 문제풀이 상황에서는 시스템을 규정하지 않았고, 문제 상황에 대한 내력과 외력 구분에서도 어려움을 겪고 있었다. [학생1]은 내력을 “시스템 내부 물체들 사이의 힘”, 외력을 “시스템 외부에서 시스템 내부로 주어진 힘”으로 정의했다. 하지만 [학생1]은 그림 4.1의 문제 (a), (b)를 풀이하는 과정에서 시스템의 구성요소를 선택하지 못한 채로 내력과 외력의 구분을 시도하였다. 이 과정에서 [학생 1]은 물체에 작용하는 중력을 내력으로 규정하고, 사람이 수레에 착지하면서 누르는 힘은 외력으로 구분하였다. 그러나 선운동량 보존을 문제상황에 적용하려면 사람과 수레를 시스템으로 규정하는 것이 자연스럽다. 이 때 물체에 작용하는 중력은 외력이며 사람이 수레에 착지하는 힘은 내력이 되므로 [학생 1]의 내력, 외력 구분은 적절하지 못하다. 결국 [학생 1]의 사례는 학습자들이 내력과 외력의 선언적 구분 기준을 정확히 알고 있더라도 문제상황에서 시스템을 규정하지 않고 내력과 외력을 구분하는 것의 문제를 보여준다.

내력과 외력을 구분하는 것은 보존법칙의 적용과 밀접하게 관련된다. 따라서 시스템의 구성요소를 선택할 때 적용해야 하는 보존법칙을 고려하여 결정해야 하며, 이를 바탕으로 내력과 외력을 올바르게 구분할 수 있어야 한다. 이런 의미에서 시스템에 기반한 관련 개념들의 학습이 보존법칙의 도입과 적용에서 강조되어야 한다. 그렇지만 학생들의 응답을 살펴보면 학생들은 보존법칙과 관련된 문제상황을 다룰 때 명시적으로 시스템을 규정하는 과정을 생략하고 있는 것처럼 보인다.

### (3) 외부와의 유효한 상호작용의 선별과 시스템에 미치는 영향 파악

#### ① 내력과 외력의 구분 기준과 필요성에 대한 응답

선운동량, 각운동량, 에너지 보존의 조건에 대한 학생의 응답에서 외력의 부재는 가장 빈번하게 언급되는 조건이었다. 외력(external force)은 ‘계의 외부에서 작용하는 힘’으로, 내력(internal force)은 ‘시스템을 구성하는 물체 사이에 작용하는 힘’으로 정의된다 (Bertalanffy, 1950). 즉, 시스템을 구성하는 물체와 상호작용하는 물체가 시스템 내부의 물체인지 시스템 외부의 물체인지에 따라 내력과 외력은 구분된다. 이러한 내력과 외력의 정의와 구분 기준을 범주화한 결과는 표 4.13과 같다. 16건의 응답이 계의 안과 바깥에서 작용하는지의 여부에 따라 내력과 외력을 나누었다. 또 6건의 응답에서 물체의 안과 바깥을 기준으로 내력과 외력을 나누었다. 힘의 상쇄 여부(cancel out or disproportion) 제시, 기타 및 무응답은 9건이었다. 보존법칙의 조건과 관련된 학생의 응답특징과 비교할 때 결과적으로 학생들은 내력과 외력의 구분기준을 더 정확히 제시한 셈이다.

표 4.13 내력과 외력의 분류기준에 대한 학생들의 응답

	범주	응답자 수(%)
힘의 근원의 위치	시스템의 내부(내력), 시스템의 외부(외력)	10(32.3)
	물체의 내부(내력), 물체의 외부(외력)	3(9.7)
	스스로(내력), 주체의 외부(외력)	1(3.2)
힘의 작용점의 위치	시스템의 내부(내력), 시스템의 외부(외력)	4(12.9)
	물체의 내부(내력), 물체의 외부(외력)	2(6.5)
상쇄 여부		3(9.7)
무응답		8(25.8)

총합	31(100)
----	---------

- 학생들의 응답을 중복체크 하였음.

한편 외력과 내력 구분의 필요성에 대한 학생들의 응답을 범주화한 결과는 표 4.14와 같다. 응답은 크게 문제 풀이와 관련된 서술(10건), 외력의 개념적 필요성에 대한 서술(5건), 내력의 개념적 필요성에 대한 서술(4건), 시스템을 부각시킨 서술(5건) 등으로 나뉘었다. 학생들은 문제 풀이와 관련한(problem solving related) 범주는 세부적으로는 보존법칙의 설명(5건), 문제의 단순화(3건), 쉬운 계산(2건) 등의 언급을 포함하였다. 외력의 개념적 필요성에 대해 서술한 응답들은 “(외력이) 물체의 운동과 상태와 관련”, “전체 시스템의 상태를 조사”등 을 언급하였다. 외력의 개념적 필요성을 담은 응답들은 세부적으로는 “실제 현상에서 관찰되지 않으며”, “시스템 안에서 상쇄” 등을 언급하였다.

실제로 내력과 외력은 물체의 운동과 상태의 해석에 중요한 요소로 특히 시스템의 질량 중심의 운동에 대한 해석에서 중요하다. 이를테면 입자계의 운동 분석에서 시스템에 작용하는 내력과 외력을 구분하고, 알짜 외력에 의한 시스템의 질량 중심의 운동 상태를 계산하는 것이 유용하다. 이와 같은 맥락에서 학생들이 내력과 외력의 구분을 통해 문제를 단순화하거나 계산을 쉽게 할 수 있다는 응답은 적절하다고 할 수 있다. 그런데 “내력이 실제 현상에서 관찰되지 않기 때문에 구분해야 한다”거나, “시스템의 전체 에너지를 계산하거나 계를 분류하기 위해 내력과 외력의 구분이 필요하다”는 응답 등 과학적으로 적절하지 않거나 해당 응답만으로 과학적인 설명임을 확인하기 어려운 응답들도 제시되었다.

표 4.14 내력과 외력의 분류의 필요성에 대한 학생들의 응답

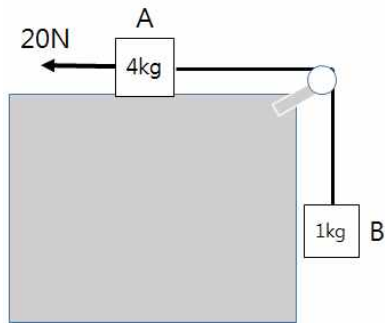
범주		응답자 수(%)
문제풀이	보존법칙을 설명하기 위해	5(13.9)
	문제를 간소화하기 위해	3(8.3)
	계산을 쉽게하기 위해	1(2.8)
	운동방정식 적용을 위해	1(2.8)
외력	외력은 물체의 운동과 상태와 관련되므로	3(8.3)
	외력을 무시하기 위해	1(2.8)
	전체 시스템의 상태를 조사하기 위해	1(2.8)
내력	실제 현상에서 내력은 관찰되지 않음	2(5.6)
	내력은 시스템 내부에서 상쇄되므로	1(2.8)
	보존법칙과 관련되므로	1(2.8)
시스템	전체 시스템의 에너지를 계산하기 위해	3(8.3)
	시스템을 분류하기 위해	2(5.6)
무응답		7(19.4)
기타		5(13.9)
총합		36(100.0)

- 학생들의 응답을 중복체크 하였음.

## ② 외력이 작용하는 시스템의 내부에너지의 변화에 대한 어려움

역학적에너지 보존법칙과 열역학 제 1법칙은 시스템과 주위의 상호작용에 의해 교환되는 물리량을 통해, 시스템 내부의 구성요소들의 운동상태를 예측과 같은 인과관계를 살펴보는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 역학적에너지 보존법칙이 적용되는 고립계와 열역학 제 1법칙이 적용되는 닫힌계 내부의 에너지를 학생들이 어떻게 이해하고 적용하는가를 살펴보았다. 이를 확인하기 위해 다음과 같은 문항을 학생들에게 제시하였다.

4. 그림 (가)는 두 물체가 질량을 무시할 수 있는 줄로 연결되어 있으며, 지면과 마찰이 없는 상태로 정지해 있습니다. 그림 (나)는 이상기체가 채워진 실린더가 평형상태를 이루고 있습니다. 피스톤의 질량과 모든 마찰은 무시할 수 있습니다. 다음 물음에 답해주세요 (단, 중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 이며, 실린더와 피스톤을 통한 열의 이동은 없습니다).



(가)



(나)

- (1) 그림 (가)의 정지해 있던 두 물체 중, 물체 A에 일정한 힘 20N을 왼쪽 방향으로 작용하였습니다. 물체가 10m 이동하는 과정에서의 두 물체 계의 역학적에너지의 크기의 변화를 선택하고, 그 이유를 설명해주세요.

증가한다 ( ) 감소한다 ( ) 일정하다 ( ) 알 수 없다 ( )

- (2) 그림 (나)의 평형상태에 있던 기체 계의 피스톤에 오른쪽 방향으로 일정한 힘 10 N이 작용하였다. 피스톤이 처음위치에서 오른쪽으로 10m 이동하는 과정에서의 기체 계의 내부에너지의 크기의 변화를 선택하고, 그 이유를 설명해주세요.

증가한다 ( ) 감소한다 ( ) 일정하다 ( ) 알 수 없다 ( )

그림 4.2 외력이 작용하는 시스템 내부의 에너지 변화에 대한 설문 문항  
(설문지 B - 문항4)

그림 4.2는 설문지 B의 문항 4이며 외력이 작용하는 두 시스템 내부의 에너지 변화에 대한 문제이다. 학생들은 두 시스템에서 역학적에너지

와 내부에너지 변화에 대해 응답했으며 그 결과는 다음과 같다.

표 4.15는 외력이 작용하는 시스템의 역학적에너지 변화에 대한 학생들의 응답이다. 학생들의 79.4%는 외력의 작용에 의해 역학적에너지가 증가한다고 응답했다. 그들의 응답 중 가장 많은 29.4%는 물체의 운동에너지와 위치에너지가 증가하기 때문에 두 에너지의 합인 역학적에너지가 증가할 것이라고 응답했다. 이는 시스템을 이루는 구성요소의 물리량(운동에너지)과 구성요소 간의 상호작용에 의한 물리량(위치에너지)의 변화를 통한 접근으로 볼 수 있다.

한편, 전체의 23.5%의 학생들은 외부에서 시스템에 일이 가해졌기 때문에 역학적에너지가 증가했다고 응답하였으며, 이는 시스템과 주위와의 상호작용의 관점에서 에너지의 흐름을 설명한 것으로 볼 수 있다. 이 결과는 학생들이 시스템 내부의 에너지 변화를, 부분들의 상호작용을 통한 접근과 시스템과 주위의 상호작용을 통한 접근의, 두 관점에서 이해하는 것으로 추측할 수 있다.

한편, 역학적에너지가 일정하다고 응답한 학생들은 전체의 8.8%가 나타났다. 비록 소수의 학생들이 역학적에너지가 일정하다고 설명했다지만, 이 학생들도 부분들의 상호작용으로 접근하거나 시스템과 주위의 상호작용으로 접근하는 두 가지 방식의 설명이 나타났다. 부분들의 상호작용을 통해 역학적 에너지를 설명한 학생의 경우 물체를 하나의 시스템으로 규정하고 에너지 손실이 일어나지 않는다고 설명했다. 반면 시스템과 주위의 상호작용으로 문제 상황을 접근한 학생의 경우, 마찰에 의한 시스템의 에너지가 외부로 손실되지 않는다면 역학적에너지가 보존된다고 설명하였다.

표 4.15 외력이 작용하는 시스템의 역학적에너지 변화

외력이 작용하는 시스템의 역학적에너지 변화		응답자 수(%)
증가	물체의 운동에너지 증가+B의 위치에너지 증가	10(29.4)
	외부에서 시스템에 일이 가해져서	8(23.5)
	합력이 10N이므로	1(2.9)
	20N의 힘으로 10m이동해서 200J의 증가	1(2.9)
	시스템에 힘이 가해져서	1(2.9)
	기타	6(17.6)
일정	시스템 내에서의 마찰을 무시하면 항상 보존	1(2.9)
	물체를 하나의 시스템으로 보았을 때 에너지 손실은 없다.	1(2.9)
	기타	1(2.9)
무응답		4(11.8)
총합		34(100)

시스템의 내부에너지와 관련된 문제에서는 역학적에너지 변화와 다른 응답 분포가 나타났다. 학생들은 내부에너지 변화에 대한 물음에 감소(47.1%), 일정(23.5%) 증가(17.6%)로 답하였다. 이는 역학적에너지 변화에 대해 79.4%의 학생들이 증가한다고 응답한 것과는 뚜렷한 차이를 보이는 결과이다.

내부에너지 증가에 대한 응답은 다음과 같다. 2명의 학생은 평형상태의 에너지가 가장 낮기 때문이므로 피스톤에 외력이 가해진 상황이 평형상태가 깨져 에너지가 증가한다고 설명했다. 이는 문제에서 피스톤이 이

동하는 과정에서의 에너지 변화를 물었기 때문으로 판단된다. 그러나 문제에서 열의 이동이 없는 기체 계의 내부에너지에만 초점을 두었다는 점에서 이와 같은 접근은 옳지 않다. 즉, 시스템의 구성요소와 경계 설정 및 경계의 특성과 관련하여 문제 상황의 이해가 필요하다.

또한 부피 증가로 기체 계의 자유도가 증가했다는 응답은 기체의 자유도를 기체가 점유하는 공간의 의미로 이해했기 때문에 발생한 오류이다. 일반적으로 자유도는 병진, 진동, 회전과 관련하여 이해되어야 하며 부피와 직접적으로 연관된 개념은 아니다.

내부에너지가 감소한다고 응답한 학생들은 크게 두 가지 방식의 설명 방식을 사용하였다. 전체 응답에서 가장 많은 수를 차지하는 설명 방식은 기체가 일을 해서 내부에너지가 감소되었다는 응답으로 29.4%가 나타났다. 열역학 제 1법칙에 따르면  $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$ , 열역학적 일의 경우 기체가 일을 한 경우 양의 값으로 기체가 일을 받으면 음의 값에 해당한다. 따라서 기체가 일을 했다는 것은  $\Delta W > 0$ 으로 내부에너지는 감소하게 된다. 한편, 시스템 내부의 기체의 충돌 수 감소로 내부에너지를 설명한 학생들은 전체의 11.8%로, 내부에너지를 시스템 내부 기체들의 운동 에너지와 관련되며 기체의 운동에너지 감소가 곧 내부에너지 감소라고 설명하였다.

이와 같이 내부에너지 감소에 대해 학생들은 기체와 주위 사이에 열역학적 일이라는 상호작용에 의한 에너지 교환 측면에서 설명하거나 시스템 내의 구성요소인 기체들이 갖는 물리량의 측면에서 설명하는 두 가지 설명 방식을 보였다.

한편 Cummings 등 (2004)은 시스템의 내부에너지는 시스템을 구성하는 입자들의 총 운동에너지와 이들 입자간의 상호작용에 의한 총 포텐



설에너지의 합으로 정의한다. 하지만 실제 내부에너지의 계산에서 총 운동에너지와 포텐셜에너지를 직접 계산하는 것은 매우 복잡하므로 측정 가능한 물리량인  $Q$ 와  $W$ 를 통해 조작적 정의하며, 이러한 방식의 장점은 물질의 상세한 미시적 구조에 관계없이 내부에너지를 정의할 수 있다는 것이다. 즉, 학생들이 미시적 관점에서 내부에너지를 설명할 때 시스템 내부 기체들의 운동에너지와 함께 포텐셜에너지를 고려하는 것이 필요하다.

마지막으로 시스템에 외력이 작용하더라도 시스템의 내부에너지는 일정하다고 23.5%의 학생들이 답하였다. 이에 해당하는 학생들은 다양한 방식으로 내부에너지 일정을 설명하였다. 그 중에서 가장 많은 학생들은 열 이동이 없으므로 기체의 속도가 일정하다고 응답했으며, 이는 학생들이 시스템 내부의 기체들의 운동에너지를 내부에너지로 이해하였음을 확인할 수 있었다. 그러나 이 학생들은 실린더와 기체와의 상대속도에 의한 운동에너지 감소를 고려하지 않고, 시스템과 주위의 에너지 교환이 없기 때문에 기체의 운동에너지가 일정하다고 응답하였다.

한편, 피스톤을 시스템에 포함하여 전체 시스템의 에너지 보존과 내부에너지를 혼동한 응답도 나타났다. 이에 해당하는 학생은 “기체의 열  $E$  감소량 + 피스톤의 운동  $E$  증가량 = 일정”하기 때문에 내부에너지가 일정하다고 응답했다. 이는 시스템 내부의 기체의 내부에너지를 학생 본인이 정의한 시스템 전체의 에너지와 다르다는 것을 이해하지 못했기 때문이다. 이는 내부에너지가 기체들만의 운동에너지와 포텐셜에너지의 합으로 정의하는 것에 대한 이해 부족으로 해석되며, 내부에너지에 대한 정확한 학습의 필요성을 시사한다.

또한 기체 계에서의 열역학적 일에 관해서 시스템의 내부에너지를

설명하기도 하였다. 기체가 일을 한 것이 아니라 외력에 의한 실린더 이동이었기 때문에 내부에너지가 일정하다고 응답하거나 단열과정에서 일은 기체의 부피 증가에만 사용되므로 내부에너지와 무관하다고 설명하였다. 이를 논의하기 위해 열역학적 일에 대한 학생들의 설명을 조사한 결과를 살펴보았다.

표 4.16 외력이 작용하는 시스템의 내부에너지 변화에 대한 응답

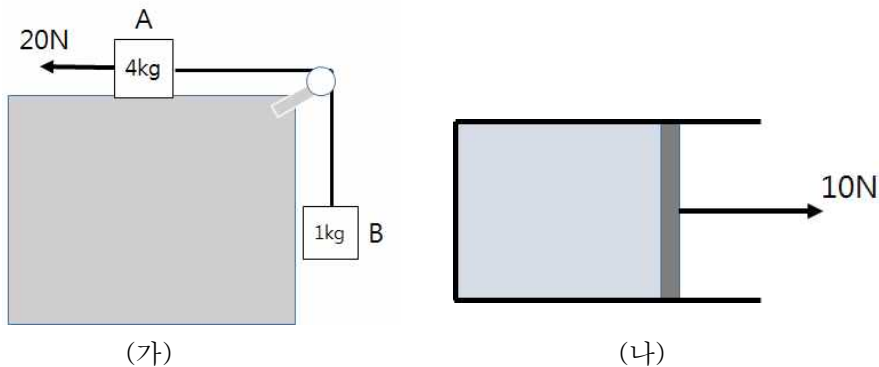
외력이 작용하는 시스템의 내부에너지 변화		응답자 수(%)
증가	평형상태의 에너지가 가장 낮기 때문	2(5.9)
	부피 증가로 기체 계의 자유도 증가	1(2.9)
	피스톤에 가해진 일이 내부 에너지로 전환	1(2.9)
	기타	2(5.9)
감소	기체가 일을 해서 내부에너지 감소	10(29.4)
	기체의 충돌 수 감소	4(11.8)
	기타	2(5.9)
일정	열 이동이 없으므로 기체의 속도 일정	3(8.8)
	기체가 일을 한 것이 아니므로	1(2.9)
	PV가 일정하므로	1(2.9)
	기체의 열E 감소량 + 피스톤의 운동 E 증가량 = 일정	1(2.9)
	단열과정에서 일은 기체의 부피증가에만 사용	1(2.9)
	기타	1(2.9)
기타		1(2.9)
무응답		3(8.8)
총합		34(100)

표 4.17 열역학적 일에 대한 정의에 대한 응답

열역학적 일에 대한 정의	응답자 수(%)
압력과 부피변화의 곱	8(23.5)
시스템의 에너지 변화	3(8.8)
온도 변화(내부에너지 변화) (U)	3(8.8)
시스템이 팽창할 수 있는 능력	1(2.9)
열의 이동을 가져오는 것(Q)	1(2.9)
어떤 시스템에서 전체 열에너지의 변화량(Q)	1(2.9)
역학에서의 일 + 열에너지의 변화량(W,Q)	1(2.9)
온도와 열량의 변화(U+Q)	1(2.9)
기타	3(8.8)
무응답	12(35.3)
총합	34(100)

③ 시스템의 경계의 속성 변화를 고려한 외부 상호작용의 선별과 적용

4. 그림 (가)는 두 물체가 질량을 무시할 수 있는 줄로 연결되어 있으며, 지면과 마찰이 없는 상태로 정지해 있습니다. 그림 (나)는 이상기체가 채워진 실린더가 평형상태를 이루고 있습니다. 피스톤의 질량과 모든 마찰은 무시할 수 있습니다. 다음 물음에 답해주세요(단, 중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 이며, 실린더와 피스톤을 통한 열의 이동은 없습니다).



(3) 기체 계를 경계로 열이 이동할 수 있다면, 기체 계의 내부 에너지는 ‘문항 4-(2)’에 대한 응답과 어떻게 달라지는지 선택하고, 그 이유를 써주세요.

동일하다 ( ) 달라진다 ( ) 알 수 없다 ( )

그림 4.3 열이 이동 가능한 외력이 작용하는 시스템 내부의 에너지 변화

시스템에 대한 학습에서 경계(boundary)에 대한 이해는 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 시스템의 경계의 특성의 변화와 학생들의 문제풀이 사이의 관계를 확인하기 위해 설문지 B의 문항 4-(2)에 연속된 문항을 개발하였다. 이를 위해 문항 4-(3)에서는 시스템의 경계를 통해 열의 이동이 가능할 때 내부에너지 변화를 4-(2)와 비교하고 그 이유를 설명

하도록 하였다.

표 5.12는 단열계와 비단열계의 내부에너지 변화와 그 이유에 대한 학생들의 응답이다. 학생들은 시스템의 경계가 비단열계로 그 특성이 변했을 때 내부에너지가 달라짐(61.8%), 알 수 없음(20.6%), 동일(8.8%)하다고 응답했다.

내부에너지가 달라진다는 학생들의 응답 중 가장 많은 수는 ‘ $\Delta Q$ 에 의해  $U$  영향(38.2%)’을 주기 때문이라고 설명했다. 이는 학생들이 열역학 제 1법칙인  $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$ 이 단열계의 경우  $\Delta Q$ 가 0, 비단열계의 경우 0이 아닌 것으로 이해하기 때문이다. 한편, 비단열계의 경우 내부에너지가 항상 일정하다는 학생들은 시스템과 주위와의 에너지 교환에 의해 열평형이 이뤄지기 때문이라고 설명했다.

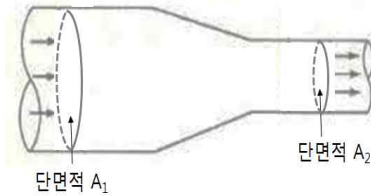
반면, 알 수 없다(20.6%)에 해당하는 학생들은  $\Delta Q$ 의 크기와 부호를 알 수 없기 때문에 내부에너지를 예측할 수 없다고 설명했다. 이와 같은 응답을 한 학생들은 단열계에서와 비단열계에서의 내부에너지가 달라진다고 응답자들과 동일하게  $\Delta Q$ 를 고려했으나, 주위와의 상호작용 변수를 좀 더 세밀하게 고려했다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 열역학적 과정을 고려해야 한다는 응답 역시 과정의 준정적 여부 등을 고려하여  $Q$ 와  $W$ 의 계산이 달라지기 때문이다. 내부에너지는 기체의 운동에너지와 포텐셜에너지의 합으로 정의되지만,  $Q$ 와  $W$ 의 관계에 의한 조작적 정의로 사용되기 때문에 역학적 과정을 고려하는 것이 학습에서 강조되어야 한다.

표 4.18 단열계와 비단열계의 내부에너지 비교

단열계와 비단열계의 내부에너지 비교		응답자 수(%)
달라짐	$\Delta Q$ 에 의해 U 영향	13 (38.2)
	단열이 아니면 U 일정	3 (8.8)
	열평형으로 U 일정	2 (5.9)
	$\Delta Q = \Delta U$	1 (2.9)
	기체 계의 상태에 따라 달라짐	1 (2.9)
	단열 아니면, 열역학 법칙 적용 불가	1 (2.9)
알수 없다	$\Delta Q$ 를 알 수 없음	6 (17.6)
	열역학 과정의 예측 어려움	1 (2.9)
동일	기체가 한 일과 외부로의 열 방출량 동일	2 (5.9)
	온도가 낮아지는 과정까지 동일	1 (2.9)
무응답		3 (8.8)
총합		34 (100)

(4) 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 고려하지 못한 시스템 이해

6. 오른쪽 그림과 같이 단면적이  $A_1$ 에서  $A_2$  ( $A_1 > A_2$ )로 변하는 원통형 관에, 밀도  $\rho$ 인 이상유체가 오른쪽 방향으로 흐르고 있다. 단면  $A_1$ 에 작용하는 유체의 압력은  $p_1$ , 유체속도는  $v_1$ 이고, 단면  $A_2$ 에 작용하는 유체의 압력은  $p_2$ , 유체속도는  $v_2$ 이다.



(1) 이상유체가 관을 따라 흐를 때, 단면적과 유체속도와의 관계식을 유도하고, 그 관계식을  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ 로 표현하세요.

(2) 동일한 시간 동안, 단면  $A_1$ 에 작용하는 압력  $p_1$ 에 의해 유체계가 받은 일  $W_1$ 과 유체가 단면  $A_2$ 에 작용하는 압력  $p_2$ 로 한 일  $W_2$ 의 크기를 비교하고, 그 이유를 써주세요.

(3) 단면  $A_1$ 에 작용하는 압력  $p_1$ 과 단면  $A_2$ 에 작용하는 압력  $p_2$ 의 크기를 비교하고, 그 이유를 써주세요.

그림 4.4 이상유체가 흐르는 유체계의 물질량, 압력, 일에 대한 문항

이상유체가 흐르는 열린계에서의 에너지 보존법칙인 베르누이 법칙에 대한 학생들의 이해를 조사하기 위해 설문지 B의 6번 문항을 개발하였다. 문항 6은 세 가지 하위 문항으로 구성되며 각각 연속방정식, 일, 압력에 대한 이해를 물었으며, 본 연구에서는 일과 압력에 대한 학생들의 응답을 분석하였다.

단면  $A_1$ 과  $A_2$ 사이의 유체계가 단면  $A_1$  왼쪽에서 유입되는 유체에 의해 받은 일과 단면  $A_2$  오른쪽의 유체에 한 일을 비교하는 문항에 대한 학생들의 응답은 한 일의 크기가 같음(50%), 유체계가 한 일이 큼

( $W_1 < W_2$ , 14.7%), 유체계가 받은 일이 큼( $W_1 > W_2$ , 8.8%)로 나타났다.

유체계가 받은 일과 한 일이 같다고 응답한 학생들은 3가지 설명 방식으로 구분할 수 있었다. 그 중에서도 에너지가 보존되어야 하므로 유체계가 받은 일과 한 일이 같아야 한다고 응답(17.6%)이 가장 많았다. 그러나 학생들은 구체적으로 베르누이 방정식을 구성하는 세 가지 에너지를 고려해서 설명하지는 못했다.

베르누이 방정식은 ' $p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{일정}$ '로, 각 항은 다음과 같은 세 가지 일로 해석되어야 한다. 우선, 유체계의 양 경계의 속도의 변화를 통해 운동에너지 변화에 의한 시스템에 작용하는 일이 있으며,  $W = \Delta K$ 로 설명할 수 있다. 두 번째는 중력에 의한 일로 유체의 입구 높이와 출구 높이의 차에 의한 포텐셜 에너지로  $W_g = -\rho g \Delta V h$ 이다. 마지막으로 유입되는 유체가 유체계를 밀어 주며 발생한 부피 변화와 유체계가 출구에 있는 유체를 밀어 주는 힘에 의해 발생한 부피 변화와 관련된 일  $W = p \Delta V$ 가 있다.

또한 유체계가 받은 일과 한 일이 같다고 응답한 학생들의 많은 수는 '직관적으로 같음(14.7%)'이라고 응답했다. 이는 응답자들이 유체계가 관을 흐르면서 손실되는 에너지가 없기 때문에 보존되는 것이라고 생각되지만 정확한 이유를 설명하지 못한 것으로 앞의 응답과 유사하다. 또한 비슷한 수의 학생들이 '통과하는 유체의 양일 동일하므로 압력이 동일(11.8%)'하다고 응답했으나, 이 학생들은 흐르는 유체의 양을 압력과 동일한 개념으로 잘못 이해하고 있었다.

유체계가 한 일이 받은 일보다 크다고 설명한 학생은 14.7%였으며, 그들의 대부분은 압력의 크기 때문에 한 일의 크기가 크다고 응답했다. 이는 유입되는 유체가 유체계를 밀어 주며 발생한 부피 변화와 유체계가



출구에 있는 유체를 미는 힘에 의해 발생한 부피 변화와 관련된 일  $W = p \Delta V$ 만 고려한 이해로 볼 수 있다. 게다가 흐르는 유체는 단면적이 작은 곳을 지날 때 속도가 빨라지며 압력은 감소한다. 따라서 해당 문제에서 단면이 작은 출구를 지나는 유체의 경우 압력이 감소하기 때문에 부피 변화와 관련된 일의 크기는 감소하는 것으로 이해해야 한다.

유체계가 받은 일이 한 일보다 크다고 설명한 학생은 8.8%였으며 유체의 속도와 관련하여 일의 크기를 이해하는 경향이 나타났다. 두 학생의 설명에서는 단면이 작은 곳을 지나는 유체의 속도가 더 빠르다는 것에는 공통점이 있었지만 최종적인 설명에는 차이가 있었다. 한 학생은 “ $A_2$ 를 지나는 유체가 속도가 더 빠르기 때문에 운동에너지가 더 크다.”고 설명했다. 즉, 이 학생은 운동에너지가  $A_2$ 를 지날 때 더 커지기 때문에 유체계가 한 일보다 받은 일이 큰 것으로 판단한 것이다. 반면, 다른 학생은 “ $A_2$ 를 지나는 유체가 속도가 더 빠르기 때문에 압력이 더 작다.”고 설명했다. 이 학생의 경우  $W = p \Delta V$ 로 유체계가 받은 일과 한 일을 판단한 것으로 동일한  $\Delta V$ 일 때 압력의 크기로 일의 크기를 이해한 것이다. 즉, 유체계가 받은 일과 한 일의 크기에 대해 동일한 응답을 한 학생도 베르누이 법칙에서 고려하는 두 항 중 하나의 항의 해석에 편중된 해석을 한 것이다.

표 4.19 면적이 다른 두 경계에서의 일의 크기 비교

열린계의 면적이 다른 두 경계에서의 일의 크기 비교		응답자 수(%)
$W_1 = W_2$	에너지가 보존되어야 하므로	6(17.6)
	직관적으로 같다	5(14.7)
	통과하는 유체의 양 동일하고 압력도 동일해서	4(11.8)

	기타	2 (5.9)
$W_1 < W_2$	$A_2$ 에 작용하는 압력이 크므로	4 (11.8)
	$A_2$ 를 지나는 유체의 속도가 더 빠르기 때문에 운동에너지가 더 크다.	1 (2.9)
$W_1 > W_2$	$A_2$ 를 지나는 유체의 속도가 더 빠르기 때문에 운동에너지가 더 크다.	1 (2.9)
	$A_2$ 를 지나는 유체의 속도가 더 빠르기 때문에 압력이 더 작으므로	1 (2.9)
	기타	1 (2.9)
	무응답	9 (26.5)
	총합	34

앞에서 논의한 것처럼 유체계가 받은 일과 한 일에 대한 설명에서 유체의 압력과 속도가 중요한 요인으로 사용되었다. 따라서 흐르는 유체가 면적이 다른 두 곳을 지날 때의 압력에 대한 학생들의 생각을 심층적으로 살펴보는 것이 필요하다.

단면적이 작은 곳을 흐르는 유체의 압력이 크다고( $P_1 < P_2$ ) 응답한 학생들은 47.1%로 가장 많았다. 그 중에서 ‘단위 면적당 흐르는 유체의 양’으로 압력의 크기를 설명한 학생들이 26.5%를 차지했다. 이 학생들은 유체계에 출입하는 에너지의 해석을 통해 압력을 이해한 것이 아니라 단위 면적에 충돌하는 입자의 수가 많으면 더 큰 힘이 작용하고 이는 일반적으로 알고 있는 압력( $P = \frac{F}{A}$ )으로 이해하였기 때문이다.

11.8%의 학생들은 ‘유체계가 받은 일과 한 일의 크기가 같기 때문에 힘이 동일하므로 면적이 작은 곳의 압력이 크다’고 응답하였다. 이 학생

들은 유체계에서 발생하는 전체 일을, 일-운동에너지 정리( $W = \Delta K$ )에 의한 일을 고려하지 않고 부피 변화에 의해 발생한 일( $W = p\Delta V$ )만으로 해석하였다. 즉, 부피 변화에 의한 일만을 고려하면 유체계가 받은 일과 한 일의 크기는 동일하지 않으며, 일의 크기가 같다고 힘의 크기가 동일하다는 설명은 옳지 않다.

또한 소수의 학생들은 운동량 보존으로 압력의 크기를 설명하기도 하였다. 그렇지만 운동량 보존법칙에 대한 논의에서 자세히 다룬 것과 같이 비고립계의 경우에는 운동량 보존법칙을 적용하는 것이 아닌 관련되는 에너지와 일에 대한 해석으로 접근하는 것이 필요하다.

단면적이 큰 곳을 흐르는 유체의 압력이 크다고( $P_1 > P_2$ ) 응답한 학생은 14.7%였다. 그 중에서 ‘베르누이 법칙에 의해  $A_2$ 의 속도가 크기 때문에’ 빠르게 흐르는 유체의 압력이 더 작다고 설명했다. 이에 해당하는 학생들은 베르누이 법칙을 사용해서 일-운동에너지 정리와 부피 변화에 의한 일을 계산하였고 압력의 크기를 계산하였다. 또한 ‘일의 크기가 같으나  $A_2$ 의 속도가 크기 때문에’ 빠르게 흐르는 유체의 압력이 작다고 설명한 학생들도 해당 문제풀이를 정확하게 하였으나, 베르누이 법칙을 통한 구체적인 설명을 하지는 않았다.

한편, 단면적과 무관하게 압력의 크기가 같다고 응답한 학생은 부피 변화에 의한 일인  $W = P\Delta V$ 만을 사용하여 설명하였다. 이 경우 연속방정식에 의해  $Av$ 는 일정하므로 압력이 동일하다고 생각했으나, 일-운동에너지 정리에 의한 일을 함께 고려하지 않아 압력의 크기를 정확히 비교하지 못하였다.

표 4.20 면적이 다른 두 경계에서의 압력의 크기 비교

열린계의 면적이 다른 두 경계에서의 압력의 크기 비교		응답자 수(%)
	단위 면적당 흐르는 유체의 양	9(26.5)
	일의 크기가 같아 힘이 동일하므로 ( $\because \vec{F} = P\vec{A}$ )	4(11.8)
$P_1 < P_2$	$A_2$ 에서의 운동에너지가 더 크고 일이 더 크다.	1(2.9)
	운동량 보존에 의해 PA가 일정하므로	1(2.9)
	기타	1(2.9)
$P_1 > P_2$	베르누이 법칙에 의해 $A_2$ 의 속도가 크기 때문에	3(8.8)
	일의 크기가 같으나 $A_2$ 를 지나는 유체의 속도가 더 빠르기 때문에	2(5.9)
$P_1 = P_2$	일의 크기가 같고 $W = PAvt$ 이므로	4(11.8)
무응답		9(26.5)
총합		34(100)

### 4.3.3. 심층면담 과정에서 나타난 시스템 이해

시스템에 대해 응답한 설문 참여자들의 응답은 단편적인 서술이 대부분이었다. 따라서 심층면담을 통해 예비교사들이 이해하고 있는 시스템에 대해 자세히 살펴보았다. 면담 결과, 설문에서 나타났던 응답에서 나타나지 않았던 시스템의 속성들을 면담을 통해 확인할 수 있었다.

#### (1) 시스템에 대한 인식

##### 1) 경식(S1, 가명): 시스템은 공간 → 시스템은 공간에 대한 해석

경식(S1)은 면담의 첫 질문인 ‘본인이 생각하는 시스템의 정의는 무엇인가?’에 대한 답변으로 시스템이 “어떤 물체가 존재하는 공간”이라고 답하였다. 설문결과를 정리한 표 3.3을 보면 알 수 있듯이, 예비교사들은 시스템을 설명할 때 ‘공간(31.1%)’을 가장 많이 사용하였다. 연구자는 면담 과정에서 경식이 생각하는 시스템이 물체 등이 아니라 공간임을 재확인하기 위해 다시 한 번 시스템의 대상을 물었고, 경식은 본인이 앞에서 설명을 반복하여 시스템은 공간이라고 답하였다. 다음은 시스템에 대한 경식의 면담 내용을 발췌하였다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템은 무엇인가요?

S1: 어떤 물체에 대해 내가 보고자 하는 것, 공간

연구자: 그렇다면 어떤 것이 시스템의 대상인가요?

S1: 내가 보고자 하는 물체가 존재하는 공간이요.

그러나 경식(S1)은 면담이 진행되는 동안 시스템에 대한 자신의 설명을 수정하였다. 경식(S1)이 시스템이 무엇인지에 대한 응답의 변화는 시스템에 대한 역할을 설명 이후 나타났다. 경식(S1)은 시스템이 “최대한 간단하게 보고 간소화하는 과정”에서 중요하다고 생각하였고, 독립적인 물리량을 각각 계산해서 그 관계를 살펴보는 것이 과학에서 중요하다고 설명하였다. 이 과정에서 ‘해석’이라는 용어가 등장했다. 연구자는 경식이 사용한 공간과 해석이 동일하지 않음을 지적했다. 이에 경식은 본인이 이해하는 시스템을 “공간에 대한 해석”이라고 수정하였다.

연구자: 그렇다면 과학이나 물리학에서 시스템이라는 것은 어떤 역할 또는 중요성을 갖나요?

S1: 여러 시스템이 있으면 너무 복잡하니까 최대한 간단하게 보고 간소화하는 과정에서 (중요하다고 생각해요).

연구자: 본인이 말한 간소화하는 과정이 무엇인지 설명해 주실 수 있나요?

S1: 아아아.... 예를 들어서, 아 막 물체가 여러 개 움직여요. 하나가 움직이는 것을 알고 있는데, 여러 개를 이해하기 힘들니까 한 물체에 대한 관계를 통해 알아보는 거 같아요.

연구자: 복잡한 걸 간소화한다는 생각이 수에 관련된 건가요?

S1: 수에 관한 걸 수도 있고. 예를 들어, 선운동량과 각운동량은 관계가 없는 것일 수 있으니까 선운동량을 먼저 보고 각운동량을 나중에 보는 것 (같은 경우인 것 같아요).

(중략)

연구자: 아까 시스템이 어떤 물체에 대해서 내가 보고자 하는 공간이라고 했는데요. 맞나요?

S1: 내가 보고자 하는 게 내가 무엇을 볼 건지에 대해 정하고 그것에 대해 해석하는 것 같아요. 선형운동량을 본다면 그것에 대한 것만 보고 각운동량을 본다면 그것만 보는 것처럼요.

연구자: 해석과 공간이 다른 것 같은데요?

S1: 해석이 좀 더 가까운 것 같아요. 그 공간에 대한 해석 정도로 하면 될 것 같아요.

## 2) 홍기(S2, 가명): 여러 입자들의 모임으로서의 시스템

홍기(S2)는 “사람이 잡는대로” 하나의 시스템을 구성할 수 있으며, 거시적인 물체도 “여러 입자들의 모임”으로 이루어졌다고 설명했다. 또한 시스템을 정의할 때 기준에 대해서도 설명했다. 시스템은 “파티클의 상호작용을 기준으로 정해진다”고 생각하고 있었다.

홍기(S2)는 “역학에서 시스템이 명시적으로 드러나지만” 다른 영역에서도 시스템이 사용된다고 설명했다. 그는 물리교재에서는 나무토막을 밀 때 나무토막 하나에 힘을 작용하는 것처럼 볼 수도 있지만, 나무토막을 구성하는 수많은 입자들에 힘이 작용하는 것으로 생각할 수 있다고 설명하였다. 즉, 홍기(S2)는 시스템의 대상은 구체적인 사물이며 그 사물의 미시적인 입자를 말한다. 다음은 시스템의 구성요소에 대한 홍기(S2)의 면담 과정 일부를 발췌한 내용이다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템은 무엇인가요?

S2: 역학에서 명시적으로 드러나는 것 같지만 전자기학이나 어디서든 다 쓸 수 있는 것을 말해요.

연구자: 역학에서 시스템은 주로 어떤 개념과 관련해서 사용했나요?

S2: 파티클의 상호작용과 보존에서 사용했던 것 같아요.

연구자: 파티클의 상호작용과 관련해서 시스템을 설명할 수 있겠어요?

S2: 다시 생각해보니까 파티클의 상호작용에서 시스템을 쓴다기보다는, 시스템을 정의할 때 파티클의 상호작용을 기준으로 정의하는 것 같아요.

연구자: 그렇다면 시스템은 무엇이죠?

S2: 물리량이 변하는 상황에서... 시스템을 사용할 때 가장 쉬운... 가장 간단하게 말하면 물체를 밀 때 책에서는 교과서 같은 데에서는 나무토막을 밀 때 하나로 보지만, 엄청나게 많은 입자들을 미는 거잖아요. 힘을 가하는 지점 근처의 입자를 미는 것이고 그것들이 상호작용을 해서 하나로 움직이는 거니까요.

연구자: 그렇다면 시스템은 나무토막 같이 수많은 입자로 이뤄진 것을 말하는 건가요?

S2: 큰 느낌은 사람이 잡는대로 하나의 시스템이 되는 것 같아요.

### 3) 태현(S3, 가명): 확연히 달라지는 구역의 의미로서의 시스템

태현(S3)은 “물리적인 특성, 성질, 법칙의 작용이 확연히 달라지는 부분을 구역화”한 것을 시스템이라고 설명했다. 그는 시스템과 주위의(태현은 주위라는 용어를 사용하지는 않았다) 경계가 있으며, 경계를 기준으로 물리 법칙이 다르게 적용되어야 함을 강조하고 있었다. 태현(S3)은 에너지가 전달되지 않는 경계인 단열계 또는 버스와 같은 물리적인 경계를 시스템으로 이해했다. 두 가지 예는 시스템의 구역으로서 다른 측면이 강조되고 있다.



먼저, 태현(S3)은 버스의 경우 관찰자의 위치를 강조했다. 관찰자가 버스 내부 또는 외부에 있는지에 따라 버스 안과 밖에서 적용되는 물리 법칙에 의한 해석이 달라질 수 있다고 설명했다. 즉, 그는 관성 또는 비관성 좌표계와 시스템의 의미를 혼동하고 있었다. 또한 단열과 관련해서 태현(S3)은 열원의 위치를 강조했다. 이는 태현(S3)이가 앞에서 설명한 관찰자의 위치와 유사한 설명방식으로, 단열계에서 열원이 단열된 시스템 안에 있는지 밖에 있는지에 따라 시스템의 분석이 달라져야 한다고 이해한 것이다.

요컨대 태현(S3)은 물리적 경계를 기준으로 관찰자 또는 열원의 위치를 강조했다. 해당 구역에 적용해야 하는 물리적 법칙에 영향을 주는 요인(관찰자, 열원 등)이 구역 안에 포함된 물체의 해석에 영향을 주기 때문이며, 태현(S3)이가 생각하는 시스템은 그 요인들을 포함하여 정의되어야 한다. 다음은 시스템의 구성요소에 대한 태현(S3)의 면담 과정 일부를 발췌한 내용이다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템은 무엇인가요?

S3: 어떤 물리적인 특성이나 성질, 법칙이 작용하는 곳이 있을 때, 확연히 달라지는 부분들을 구역화한 것을 시스템이라고 해요.

연구자: 확연히 달라지는 구역에 대해 자세히 설명해 주실 수 있으세요?

S3: 그곳이 계의 경계가 되는데, 예를 들어, 단열이라든지 버스라든지 등이 밖에서 다르게 생각해야 하니까 (구역이라고 말했어요).

연구자: 밖에서와 다르다는 것이 중요한가요? 그리고 시스템 안에서 적용되는 법칙이 밖에서와 다르다는 것은 무슨 의미인가요?

S3: 관찰하는 위치도 중요할 수 있고, 그 자체로도 다를 수 있는 것 같아요. 관찰자가 아니어도 (다를 수 있는 것 같아요).

연구자: 그 자체로도 다르다는 것은 무엇이 다르다는 건가요?

S3: 구체적으로 생각을 말하면, 단열되는 상자가 있으면 그 안의 계와 밖의 계가 있을 것, 관찰자가 중요할 수 있는데 어떻게 보면 외부의 열로부터 단열이 되면 외부의 열로부터 안의 계에 영향을 미치지 않을 수 있으니까 물리적인 성질이 다르게 적용되어야 하는 것(을 말해요).

#### 4) 기태(S4, 가명): 자연을 이루는 여러 가지 요소들의 집합

기태(S4)는 시스템이 “시공간 안에 있는 객체들의 다수를 특정할 수 있게 있게 규정해 놓은 것들”로 설명하였다. 그러나 그가 설명하는 시스템이 단순히 다수들의 모임은 아니었다. 컵 안에 있는 물 분자들도 배치하는 방식에 따라 다르게 규정될 수 있는 것이라고 생각하고 있었다.

기태(S4)는 다수의 객체들의 모임이 중요한 이유는 자연의 현상이 단순하지 않기 때문으로 설명하였다. 그는 역사적으로 과학자 또는 철학자들이 자연을 설명하고 이해하기 위해 소수의 객체를 사용했다고 설명했다. 그러나 실제 자연현상은 복잡하기 때문에 복잡계에 대한 이해를 위해 객체들을 모아 놓은 시스템에 대한 탐구가 필요한 것이라고 응답했다. 다음은 시스템의 구성요소에 대한 기태(S4)의 면담 과정 일부를 발췌한 내용이다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템의 정의는 무엇인가요?

S4: 자연에 있어서, 자연을 이루는 여러 가지 요소들. 시공간을 포함해서 시공간 안에 있는 객체들이 있는데, 계는 시공간 안에 있는 객체들의 다수를 어느 특정할 수 있게 규정해 놓은 것들. 예를 들어 컵 안에 있는 물 분자들의 집합. 여러 가지 자연의 요소들을 어떻게 놓느냐에 따라 다양하게 규정될 수 있다.

연구자: 자연의 요소들을 특정지어 놓은 집합이라고 했는데, 집합을 규정한 이유는? 왜 우리는 시스템이라 지칭는가?

S4: 제 생각에는 역사적으로 볼 때 처음에 물리학이나 화학이 자연이 어떻게 돌아가는지 탐구하다가 자연을 탐구하다가 단순계 위주로 탐구하다가, 단순한 것을 어느 정도 해결했는데 복잡한 자연계에 도입하려면 하나 하나의 단순계를 적용하기 어렵기 때문에 계라는 것을 도입한 것 같아요.

#### 5) 규철(S5, 가명): 물질과 에너지가 교환되는 경계

규철(S5)은 시스템을 ‘경계’로 이해하고 있었다. 그는 시스템이 “물질과 에너지가 왔다 갔다 하는 경계”이며, “경계선을 설정할 수 있을 것”이라고 설명하였다. 규철(S5)이 생각하는 시스템은 특정 물질이 아닌 물질을 단절시키거나 통과시키는 통로의 의미로 사용되었다.

연구자는 경계에 대한 규철(S5)의 생각을 자세히 살펴보기 위해 “경계는 어떻게 정해지는가?”에 대해서 물어보았다. 규철(S5)은 “기준”이라는 용어를 사용해서 시스템을 구체적으로 설명하였다. 그는 문제풀이 상황을 예로 들었다. 그가 생각하는 문제풀이에서의 시스템이란 “문제풀이에서 필요한 정보를 뽑아내는 곳”이며, “우리가 관심을 두는 곳”이었다. 즉, 시스템은 ‘물질과 에너지의 경계’이며, 시스템의 선택은 ‘인간(탐구자)의 선택’이며 ‘(탐구자의) 목적’을 갖고 행해지는 행위이다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템의 정의는 무엇인가요?

S5: 물리에서 다루는 것이 물질과 에너지에 대한 것. 물질과 에너지가 왔다 갔다 하는 경계. 닫힌계 고립계와 같은 것은 내부와 외부가 있고 차단이 될 수도 있고 연결이 될 수 있는 것. 경계선을 설정할 수 있는 것

### 을 계 또는 시스템

연구자: 경계선은 어떻게 정해지나요?

S5: 기준을 말씀하시는 건가요?

연구자: 기준일 수도 있고요. 예를 들어, 어떤 물리 문제를 풀 때 이것이 경계다 하는 것은 무엇인가요?

S5: 문제풀이에 있어서는 문제풀이에 필요한 정보를 뽑아내면 그것이 계인 것 같아요.

연구자: 그 때 경계는 무엇이지요?

S5: 그러니까 우리가 예를 들어 물체의 자유도나 이런 것을 만들 때 힘을 분석하잖아요. 문제풀이를 위해 필요한.. (예를 들어) 도르레에 수레가 있을 때. 이 부분을 계로 설정하잖아요. 여기서 일어난 일은 관심이 없잖아요. 물론 이 부분에 대해서도 우리가 관심을 갖을 수 있지만. 문제풀이에 있어서는 우리가 집중하고자 하는... 문제풀이에 필요한 정보를 뽑아내는 것은 이 부분이란 말이지요. 제한적 의미에서의 계를 설정하는 방법. 사실 계를 설정한다는 것은 그 안에서 일어나는 일에 관심을 갖기 때문에 계를 설정. 국소적인 부분이 아니라 전체에 관심이 있다면 그것을 계로 설정할 수 있지요. 계는 어떤 부분에 대해 관심을 갖느냐에 따라 자유롭게 설정할 수 있는 것 같아요.

6) 성수(S6, 가명): 공통된 관점을 이용해서 인지하고자 하는 것의 묶음

성수(S6)는 시스템이 “어느 한 공통된 관점을 이용해서 내가 인지하고 싶은 것들을 묶어 놓은 것”이라고 설명했다. 성수(S6)는 운동량, 시간, 질량 등을 물리적 속성이며, 이 ‘물리적 속성’이 ‘관점’에 의해 달라진다고 설명했다. 또한 성수(S6)는 연구자의 ‘묶어 놓음’에 대한 질문에 대

해 “한 데 모아서 보는” “인지”적 행위라고 답했다. 그는 박스 안의 물체를 인지하거나 전기장과 같이 무한대의 개념이 필요한 경우에 무한대의 영역까지 확장되어 생각하는 것을 인지의 행위로 이해했다.

한편, 성수(S6)는 ‘고려와 인지’, ‘관찰’을 구분했는데, ‘관찰’은 “바로 딱 봤을 때의 그 자체”인 반면 ‘고려와 인지’는 “생각하거나 분석하는 것”이라고 설명했다. 즉, 성수(S6)는 시스템이 생각하거나 분석하는 인지적 행위를 위해 묶어 놓은 대상을 의미한다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템의 정의는 무엇인가요?

S6: 어느 한 공통된 관점을 이용해서 내가 인지하고 싶은 것들을 묶어 놓은 것을 말해요.

연구자: 공통된 관점은 무엇인가요?

S6: 관성계랑 비관성계와 같이. 저의 상태가 바뀌면 저의 관점도 바뀔 것이고, 물리적 속성은 그대로일지라도 (저의 상태에 따라) 달라질 수 있어요.

연구자: 물리적 속성이 변하지 않더라도 관점 또는 인식에 의해서 속성이 달라진다는 의미인가요?

S6: 에너지는.. 하나로 동일한 것임에도 불구하고 달라질 수 있다는 것을 의미해요. 변화과정을 거치면 동일한 것이라도 달라질 수 있어요.

연구자: 물리적 속성이라는 것은 무엇인가요?

S6: 에너지, 에너지의 출입, 운동량, 시간, 질량을 말해요.

연구자: 앞에서 시스템이 공통된 관점을 이용해서 내가 인지하고자 하는 것들을 묶어 놓았다고 했는데, 묶어 놓은 것이란 붙어 있어야 한다는 것인가요?

S6: 한 데 모아서 본다는 의미로 설명했어요. 내가 만약에 박스 안에 놓은

것들을 인지한다. 예를 들어, 전기장은 무한대까지 펼쳐 나가니까 무한대까지를 (묶어서) 봐야겠지요.

연구자: 한 데 모아서 본다는 것은 여러 개의 대상이 있어야 한다는 것인가요?

S6: 전하 하나 질량 하나도 가능해요. 단일한 것(입자, 전하)도 장의 의미를 가지니까 하나라도 돼요.

연구자: 고려, 인지, 관찰이라는 용어를 사용했는데, 구분해서 설명할 수 있어요?

S6: 고려나 인지는 제 생각 속에서 생각하거나 분석하는 것을 의미하고, 관찰은 그 자체의 본다는 의미로 썼어요.

연구자: 그 자체를 보는 거랑 분석한다는 것은 수준이 다른가요?

S6: 방금 말했던 것처럼 운동량, 에너지 등을 관찰한다고 했을 때, 분석하면 (물리량이) 동일한데, 관찰에서는 다르게 보일 수 있어요.

연구자: 그렇다면 관찰과 분석은 다르겠네요?

S6: 관찰은 바로 딱 봤을 때의 그 자체예요.

표 4.21 심층면담과정에서 추출한 시스템에 대한 예비교사의 설명

예비교사(가명) 시스템에 대한 설명	
S1 (경식)	시스템은 공간 → 시스템은 공간에 대한 해석
S2 (흥기)	여러 입자들의 모임으로서의 시스템
S3 (태현)	확연히 달라지는 구역의 의미로서의 시스템
S4 (기태)	자연을 이루는 여러 가지 요소들의 집합
S5 (규철)	물질과 에너지가 교환되는 경계
S6 (성수)	공통된 관점을 이용해서 인지하고자 하는 것의 묶음

## (2) 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기

### ① 제시된 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한 조건의 파악

#### 1) 제시된 배경 상황의 제한 조건의 파악의 중요성

물리적 상황을 시스템적으로 이해하는 것에 첫 번째 단계는 제시된 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한 조건을 파악이 필요하다. 실제 세계의 현상을 물리학에서 사용하기 위해서는 탐구 대상을 모델링하며, 이를 현상에 다시 적용한다 (Darusso et al., 2010; Gilbert, 2004; Halloun, 1996). 이와 같은 모델링 과정에서 대상을 이상화하며 탐구에 적절한 형태로 제한된 조건을 적용한다.

성수(S6)는 문제풀이에서는 제한 조건 또는 물리적 이상화를 강조하고 있다. 이를테면 얼음판 위에서 운동하는 물체에 작용하는 마찰력이 없다고 가정하게 되면 학생이 물체의 운동 상태를 쉽게 해석할 수 있다. 성수는 이를 자신이 생각하는 “상황 계”라고 설명하였다. 이와 같이 마찰력이 존재하지 않는 물리적 상황에서 학생은 “사고를 깔끔하게” 진행시킬 수 있다.

또한 성수(S6)는 학생 자신이 문제풀이에 필요한 구성요소의 특성 또는 제한 조건을 추가하거나 제외하는 행위는 계(시스템)을 이해하기 위해 필수적이라고 생각하고 있었다. 그는 우주론을 예를 들어 설명하였다. 천체의 운동 상태를 계산하고 해석하는 데 수많은 천체의 질량을 모두 고려해서는 물리적 상황을 예측하기 어렵기 때문에 실제 현상을 간소화하는 것이 중요하다고 설명하였다.

연구자: 문제풀이에서 계는 중요한가요?

S6: 문제 풀이에서는 우리 나라는 이것은 제외한다 등의 것들이 잘 나와서 상관없는데, 만약에 조건이 잘 제시되지 않으면 사고하고자 하는 것을 잘 모아두어야 한다. 얼음판에서의 운동에서, 마찰이 없는 것은 내가 생각하는 상황 계에서는 그것이 없다고 생각하는 것이 사고를 깔끔하게 하고 학생 자신이 잘 정할 수 있도록 하는 것

연구자: 학생 자신이 문제풀이에 필요한 것은 넣고 빼는 것을 이해하는 능력이 계를 이해하는 능력과 같은가요?

S6: 사고를 하기 위해서 할 수밖에 없는 것. 예를 들어 우주론 공부를 할 때 질량 분포가 다른데 균일하다고 생각하고 깔끔하게 접근하는 것이 계를 상정하는 것과 관계된다.

## 2) 문제 상황에서 요인 추출과 추가를 통한 학생의 인지 수준 확장

규철(S5)은 문제 상황에서 필요한 요인들을 추출하는 것이 중요하다고 설명하였다. 그는 요인을 추출하는 것이 학생들의 인지적 수준의 한계 안에서 학습이 수행되기 위해 필요하다고 설명했다. 만일 학생들의 수준을 상회하는 요인들이 문제 상황에서 제시된다면, 그 학생들이 성취 수준에 도달하기 어려울 것이라고 설명하였다. 즉, 규철(S5)은 학생들의 문제 상황을 해결할 수 있는 수준 내에서 학습할 수 있도록 고려해야 하는 요소들의 추출이 필요하다고 생각하였다.

또한 시스템에 작용하는 요인 중 목표로 하는 양과 관련된 것을 선택하는 것이 중요하다고 설명하였다. 예를 들어 가속도를 구하는 것이 문제의 목표라면 가속도에 영향을 주는 요인들은 고려하고 가속도에 영향을 주지 않는 요인들은 문제풀이 과정에서 고려하지 않는 것이라고 설명하였다.



연구자: 과학 학습 또는 물리학에서 시스템은 왜 중요한가?

S5: 그렇죠. 왜냐하면 학습에서는 더더욱 중요한 것이. 교육학적인 측면에서 학생들의 인지 수준이 한계가 있잖아요. 그 한계 수준을 넘어서는 것을 계속 생각하게 하면. 성취 수준에 도달시킬 수 있는 적절한 교육 과정이 있는 것이 아닌 것 같다. 고등학교 때 자유도를 언급하셨던 것도 이 수준에서는 이 부분에 관심을 갖아야 한다. 힘들어 영향을 받는 범위라는 측면에서 계라는 사고가 잡혔을 것. 그런 사고는 복잡한 문제가 나왔을 때 필요한 힘들어 추출을 해내고 이 운동에 영향을 미치는 요소들을 분석을 할 때. 필요한 팩터들을 추출해 낼 수 있을 때. 그리고 그것들이 시스템이 되는 것. 학습에서 우리가 원하는 요소들을 추출하는 것에 대해 알려주는 측면에서 중요해요.

연구자: 물질, 에너지 등이 계를 설정할 때 경계에서 이동하는 것을 얘기했는데, 지금 얘기에서는 팩터라는 말들이 나왔는데, 이 팩터는 무엇이지요?

S5: 이 예시로 다시 생각할 때. 팩터라는 것이 중력도 있고, 수직 항력도 있고 장력도 있지만 이것들이 이 물체에 영향을 주는 팩터라고 할 수 있잖아요. 이것들을 포함하는 계를 잡을 수도 있지만 영향을 미치는 요소들이기 때문이에요. 그렇지만 수평 또는 수직 성분만 볼 수도 있다. 만약 가속도가 우리가 알고자 하는 것이라면 그 가속도에 영향을 미치는 요소들을 모아서 계라고 할 수 있지 않겠느냐는 것이 생각

연구자: 우리가 원하는 물리량에 관계된 것?

S5: 좁은 의미로 가르치는 것이 직접적인 영향을 주는 요소들을 아는 것. 넓게 이해한다는 것은... 학습에서 있어서 갑자기 생각난 것인데, 계를 좁은 의미로 한정된 것으로 보는 것이 아니라 좁히고 넓히는 것을 아는 것을 배워야

연구자: 좁은 의미 넓은 의미를 다시 설명하면?

S5: 좁은 의미로는 이 힘들만 분석하면 되는데, 마찰력이 추가되면 수평성분만 알면됐는데, 마찰력이 포함되면서 수직 성분도 알아야 하잖아요. 따라서 수평방향 성분만 안다고 하면 이 문제를 풀 수가 없다. 교사의 역학은 문제풀이에서 필요한 요소를 추출하는 것을 가르쳐야 하지만, 좀 더 넓은 문제가 됐을 때 직접적이지 않았던 성분을 어떻게 다뤄야 하는지 가르쳐야 한다.

연구자: 확장 가능성까지 고려한 학습이 되어야 한다?

S5: 네

## ② 고려하고 있는 법칙과 원리가 적용되는 구성요소의 선택

### 1) 현상에 대한 해석과 밀접한 경계 짓기

시스템을 공간에 대한 해석이라고 이해했던 경식(S1)은 시스템의 경계 짓기가 해석과 관련하여 중요하다고 설명했다. 그는 해석의 대상 또는 현상이 “어느 공간”에 있는지에 따라 해석 여부에 영향을 준다고 이해하고 있었다. 경식(S1)은 시스템을 “잡는다”라는 표현을 사용했는데, 해석의 주체가 다양한 방법으로 시스템을 선택하고 해석이 가능함을 의미한다.

연구자: 그렇다면 시스템을 잘 이해하고 있어야 했던 경험이 있었나요?

S1: (계를) 잘 잡아야 하는 것 같아요. 어느 공간에서 있었냐는 것에 대해 잘 잡아야 해석이 되니까요.

이러한 시스템 선택의 다양성은 다음과 같은 설명에서도 나타난다. 경식(S1)은 여러 시스템을 잡거나 하나의 시스템으로 잡는 행위가 해석

이 난이도를 결정할 수 있다고 설명했다. 게다가 경식(S1)은 시스템 경계 짓기에 따라서 해석이 불가능할 수 있다고 대답했다.

연구자: 시스템을 잘 못 잡으면 해석이 어려운가요?

S1: 시스템을 잘못 잡으면... 예를 들어, 상자 안에 피스톤 하나 박아 놓고 여기 저기 다른 시스템을 잡아 놓고 하면 해석이 되는 것을 하나의 시스템으로 보면 해석이 어려운 경우가 있었어요.

연구자: 하나의 시스템으로 보면 풀리지 않는다는 건가요?

S1: 하나의 시스템으로 보면 내부에서 뭐가 일어나는지 해석이 안 되잖아 요. 사실 단열이라고 보면 운동이 없는 것인데, 두 개의 독립적인 시스템으로 보면 운동하는 경우도 있으니까요.

## 2) 질량 중심 또는 보존의 개념을 설명하기 위한 경계 짓기

홍기(S2)는 “사람이 잡는대로 하나의 시스템”이 되며 문제 해결을 위해 시스템이 선택되어야 한다고 생각했다. 그는 중고등학교 때의 학습 경험을 토대로 “문제 해결에 용이한 시스템을 잡는 것”이 필요하며, 시스템의 경계를 설정하고 그 안에서 보존되는 물리량과 질량 중심을 이해하는 데 중요하다고 설명했다.

연구자: 그렇다면 시스템은 나무토막 같이 수많은 입자로 이뤄진 것을 말하는 건가요?

S2: 큰 느낌은 사람이 잡는대로 하나의 시스템이 되는 것 같아요.

연구자: 잡는다는 것은 무엇을 의미하나요?

S2: 중고등학교 때를 생각해 보면 문제를 해결하기 용이한대로 시스템을

잡는 것. 주로 보존 상황. 입자 하나의 보존을 볼 수 있는데, 입자 여러 개가 모여서 보여지는 것이 다른 것 같아요. 질량 중심이라든지 시스템 내에서의 보존을 얘기할 수 있고. 입자 여러 개가 모여서 보여지는 물리적 성질이나, 시스템의 안과 밖을 구분 지으려고 시스템을 이야기한 것 같아요.

### 3) 특정 법칙이 적용되는 경계로서의 시스템

태현(S3)은 시스템이 적용되는 법칙을 구분하는 기능을 갖고 있다고 설명하였다. 태현(S3)에게 있어서 시스템을 선택하는 행위는 시스템과 시스템 외부에 적용되는 법칙이 달라져야 한다고 생각하고 있었다. 물리학의 법칙 적용에서 관찰자의 상태를 강조했던 태현(S3)에게 시스템의 선택은 물리학에서의 관찰자와 유사한 기능으로 이해되고 있었다. 또한 그는 단열재를 시스템의 물리적 예로 사용하여 설명을 계속해 나갔다. 단열재로 둘러 쌓인 시스템에 열원이 있는 경우 열원에 의한 영향을 받는 시스템 내부와 열원의 영향을 받는 시스템 외부는 동일한 법칙이라도 다르게 적용되어야 한다고 설명하였다.

발췌문의 마지막 부분에서 태현(S3)은 “현상을 설명하고 해석하고 예측하는 것”이 시스템의 “크리티컬한 경계”에 따라 달라진다고 설명했다. 이는 시스템이 자유롭게 경계 지어질 수 있는 것이지만 “크리티컬한 경계”에 따라 ‘현상을 설명하고자 하는 목적’ 달성 여부 또는 난이도가 달라진다고 이해하고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 태현(S3)이 ‘현상의 설명, 해석, 예측’이 시스템의 기능이라고 생각하고 있음을 보여준다.

연구자: 과학에서 시스템은 왜 중요한가요?

S3: 어떤 현상을 알아보거나 예측할 때 (중요해요), 버스 같은 경우 관찰자에 따라서 달라지기 때문에 (관찰자와 관련된 시스템이) 다르게 적용되어야 한다. 그것을 시스템이 나눠준다고 생각된다. (관찰자와 시스템에 따라) 다르게 적용되니까...

연구자: 다르게 적용된다는 것이 동일한 법칙이라도 시스템 안에서 적용되는데 시스템 밖에서는 적용되지 않는다는 건가요?

S3: 버스 안의 좌표계와 버스 밖의 절대 좌표계 같은 두 가지가 필요하고. 다른 예는 단열재 안에 열원이 있는 경우, 열원이 있는 지점을 원점으로 잡았을 때 단열재의 경계를 기준으로 법칙이 적용되는 것이 다르다. 따라서 확실히 시스템은 (시스템 밖과) 큰 차이가 난다.

연구자: 그러면 그 시스템은 어떻게 정하나요? 누가 정하지요?

S3: 현상을 설명하고자 하는 목적에 따라 편리함을 위해 정하는 것. 어떤 시스템을 기준으로 생각하느냐에 따라 다르니까 크리티컬한 경계가 있어야 해요. 설명하고 해석하고 예측하기 위해서.

### ③ 외부와의 유효한 상호작용을 선별하고 그 효과를 파악

#### 1) 상호작용하는 물리량의 구분을 위한 경계의 명료화

홍기(S2)는 상호작용하는 물리량을 경계를 기준으로 구분할 수 있다고 설명했다. 그는 이렇게 구분된 물리량 중에 일부가 계산 과정에서 제외할 수 있어 계산의 편의성을 얻을 수 있다고 생각했다. 그는 내력과 외력의 구분이 대표적인 예이며 두 힘의 구분이 시스템을 경계 짓기를 통해 가능하다고 설명했다.

홍기(S2)는 “시스템을 잡는 순간 시스템과 주위가 구분”된다고 설명했다. 이와 같이 시스템을 잡는 행위는 상호작용하는 물리량을 3가지로 분류한다: 1) 시스템 내부 물체 사이에 작용하는 물리량 2) 시스템 외부

물체 사이에 작용하는 물리량 3) 시스템 내부와 외부 물체 사이에 작용하는 물리량. 홍기(S2)가 설명한 물리량인 내력과 외력은 위의 상호작용 중 각각 1)과 3)에 해당한다. 또한 그는 열역학에서 시스템과 주위의 출입하는 물리량에 대한 설명에서 외부에서 상호작용하는 물리량이 “의미가 없다”고 설명했다. 이 둘의 공통점은 경계 짓기를 통해 구분한 세 가지 물리량 중 시스템 또는 시스템 내부의 물체들과의 상호작용이 - 외부에서만 일어나는 상호작용을 제외한 - 강조되고 있다는 점이다.

연구자: 시스템을 잡는 중요한 이유 중에 하나가 내력을 계산하지 않는 요소로 만드는 것이라고 했지요?

S2: 네

연구자: 그렇다면 외력은 무엇인가요?

S2: 시스템을 잡는 순간 시스템과 주위가 구분이 되는 거잖아요. 크게 세 가지로 나눌 수 있는 것 같은데, 시스템 내부 사이에 작용하는 힘. 외부 물체 사이에 작용하는 힘. 시스템 내부의 파티클과 외부에서의 상호작용.

연구자: 그러면 계 내부와 계 외부의 물체 하나씩이 필요하겠네요?

S2: 네. 그렇네요.

연구자: 시스템을 잡는 것이 중요하겠네요?

S2: 네. 시스템을 잡았을 때 내력을 얘기할 수 있고, 외력을 얘기할 수 있을 것 같아요.

연구자: 혹시 내력과 외력과 같이 시스템을 잡아야만 이해할 수 있는 이론, 법칙, 개념들이 있나요?

S2: 외력만큼 시스템을 잡아야만 하는지 명확하지는 않은데, 열역학에서 시스템과 외부의 출입을 얘기하잖아요. 마찬가지로 시스템을 잡고... 외

부에서 왔다가 갔다 하는 것은 의미가 없을 테고... 동적 평형같이...

## 2) 상호작용하는 물리량 이해를 위한 시스템 잡기

홍기(S2)는 시스템을 선택하는(피면담자는 시스템을 잡는다고 표현했다.) 중요한 이유가 내력을 계산하지 않기 때문이라고 설명했다. 홍기(S2)는 시스템을 선택하는 순간 시스템과 주위가 구분되며, 상호작용을 다음과 같이 세 가지 유형이 있다고 답했다: 1) 시스템 내부 구성요소 사이에서 작용하는 상호작용 2) 시스템의 구성요소와 시스템 외부 구성요소 사이의 상호작용 3) 시스템 외부 구성요소 사이의 상호작용. 이 중에서 내력은 1) 시스템 내부 구성요소 사이에 작용하는 힘으로, 외력은 시스템의 구성요소와 시스템 외부 구성요소 사이에 작용하는 힘으로 설명하였다. 또한 홍기(S2)는 상호작용을 미시적 상호작용과 거시적 상호작용으로 구분하였다. 예를 들어, 열역학에서는 “시스템과 외부의 출입”이 관심대상이며, “외부에서 왔다 갔다 하는 (상호작용은) 의미가 없다”고 설명하였다.

홍기(S2)의 응답을 통해 미시적 상호작용과 거시적 상호작용의 공통점 2가지를 도출할 수 있었다. 첫째는 상호작용의 규모가 달라지더라도 시스템의 상호작용을 구분하는 기준이 된다는 것이었다. 둘째, 시스템에 영향을 미치지 못하는 외부 구성요소 사이에 작용하는 상호작용은 “의미가 없다”는 것이다. 이는 시스템의 선택 행위에 시스템이 주체의 관심대상이라는 의미이며, 시스템 또는 외부에서 시스템에 가해지는 영향만이 유의미한 것으로 고려했기 때문이다.

연구자: 시스템을 잡는 중요한 이유 중에 하나가 내력을 계산하지 않는

요소로 만드는 것이라고 했지요?

S2: 네

연구자: 그렇다면 외력은 무엇인가요?

S2: 시스템을 잡는 순간 시스템과 주위가 구분이 되는 거잖아요. 크게 세 가지로 나눌 수 있는 것 같은데, 시스템 내부 사이에 작용하는 힘. 외부 물체 사이에 작용하는 힘. 시스템 내부의 파티클과 외부에서의 상호작용.

연구자: 그러면 계 내부와 계 외부의 물체 하나씩이 필요하겠네요?

S2: 네. 그렇네요.

연구자: 시스템을 잡는 것이 중요하겠네요?

S2: 네. 시스템을 잡았을 때 내력을 얘기할 수 있고, 외력을 얘기할 수 있을 것 같아요.

연구자: 혹시 내력과 외력과 같이 시스템을 잡아야만 이해할 수 있는 이론, 법칙, 개념들이 있나요?

S2: 외력만큼 시스템을 잡아야만 하는지 명확하지는 않은데, 열역학에서 시스템과 외부의 출입을 얘기하잖아요. 마찬가지로 시스템을 잡고... 외부에서 왔다가 갔다 하는 것은 의미가 없을 테고... 동적 평형같이...

### 3) 개념을 명확히 하는 도구로서의 시스템

기태(S4)는 여러 다양한 개념들을 명확히 하는 데 시스템이 중요한 역할을 한다고 설명했다. 그는 노란색에 대한 개념이 사람마다 다른 것처럼 개념을 객관적으로 정의하는 것의 중요하다고 생각하고 있었다. 기태(S4)는 노란색을 “초록색과 빨간색을 섞은 것”으로 생각하는 사람이 있는 반면 “단일 파장”으로 정의하는 경우가 있다고 예를 들었다. 따라서 “계(시스템)이 개념들을 명확히 하며”, “사람들이 서로 간에 말이 통



하기” 위해서 시스템을 매개로 개념을 분명히 하는 것이 필요하다고 답했다.

연구자: 과학을 배울 때 또는 물리학을 배울 때 시스템을 잘 배워야 하는 이유는 뭐라고 생각해요?

S4: 여러 가지 측면을 생각할 수 있겠는데, 그 중에 하나는 개념인 것 같아요. 자연 현상은 그 자체로 있는데, 우리가 자연 현상을 설명하기 위해서 여러 가지 개념들을 도입하잖아요? 각자 그 사람들이 갖고 있는 개념이 분명히 똑같은 걸 생각하고 있지만 얘기하다 보면 다르다. 예를 들어 “노란색을 초록색과 빨간색을 섞인 것”으로 하는 사람이 있고, 어떤 사람은 “노란색은 단일파장이지”와 같이 사람마다 갖고 있는 개념이 다른데, 그 계에 대해서도 사람들마다 생각이 다를 것 같아요. 온도, 전자기 등에 대한 여러 개념들이 다른데, 이런 계라는 것이 개념들을 명확히 해 줄 수 있을 것 같아요. 그래서 사람들이 서로 간에 말이 통하려면 서로 생각하는 게 똑같아야 하니까 계라는 것이 열통계에서 중요한 것 같아요.

연결된 연구자의 질문에 대해 기태(S4)는 개념을 분명히 하기 위한 요소들을 설명했다. 그는 “(개념을 명확히 하기 위해서는) 계(시스템) 하나만으로 부족하고, 상호작용과 에너지가 필요”하다고 부연 설명했다. 이는 연구자가 시스템 기반 이해(SBU)의 속성들로 제시한 요소들로, 시스템의 상호작용, 경계 짓기와 관련된 설명으로 해석할 수 있다.

또한 기태(S4)는 시스템을 중심으로 개념을 명확히 하는 것이 중등 교육에서도 중요하며 이를 가르치는 교사도 시스템에 기반 한 개념 이해의 필요성을 강조했다.

연구자: 계가 개념들을 명확히 해 주는 데 중요하다고 했는데, 예를 들어 어떤 개념이 그런 역할을 하나요?

S4: 계 하나만으로는 부족하고, 계, 상호작용, 에너지 이렇게 했을 때. 예를 들면 말 그대로 열 같은 거는 어떤 사람은 물체의 뜨거운 정도지. 어떤 사람은 에너지를 주고 받은 거를 열이라고 하지. 그럼 열을 자체로 생각하는 사람도 있고 에너지의 이동이라고 생각하는 사람도 있는데, 어. 그런 거를 명확하게 규정할 때 무엇을 계라고 할 것인가? 입자들 간의 모임? 아니면 상호작용은 입자들인 무언가를 주고 받은 것을 상호작용이라고 하는가. 에너지는 또 그 입자들이 갖는 운동량의 총합이라던가 뭐라든가 할 때, 계라는 것이 빠지는 것을 본 적이 없어요. 사실 열통계에서 많이 다뤘기 때문에 다른 데에서는 어떻게 정의될 수 있는지에 대해서는 생각해 봐야 할 것 같긴 한데, 입자들을 다룬 이상 보니까 중학교 교과서에서 열과 관련된 계 나와요. 온도, 열평형 이 나오는데 오개념을 갖고 있으면 큰일 나잖아요. 교사들에게도 명확하게 계라는 개념을 갖고 설명할 필요가 있겠죠

#### ④ 시스템과 그 구성요소의 물리적 상태를 추정

##### 1) 공간에 대한 해석의 틀로서의 시스템

경식(S1)은 “내가 보고자 하는 물체가 존재하는 공간에 대한 해석”을 시스템으로 이해하고 있었다. 그는 시스템을 통해 관찰하고자 하는 대상이 “돌아가는 원리”를 설명할 수 있다고 생각했다. 연구자는 그가 사용하는 ‘원리’가 무엇이고 ‘해석과 어떤 관계가 있는지에 대해서 되물었다. 경식(S1)은 자신의 생각을 정리하면서 ‘완전한 원리’라는 표현을 사용하였다. 즉, 그는 정답에 가까운 것을 원리라고 생각하고 있었다. 그리고 ‘해석’과 ‘원리’는 다른 것이라고 강조하였다. 시스템을 이해하는 것은 “

다른 사람의 해석을 가져와서 자신의 해석을 하는 것”이며, 원리와 같이 완벽한 정답은 과학에서 가능하지 않다고 생각하기 때문이었다.

또한 시스템을 해석한다는 것은 “순수하게 자신의 해석”만으로는 가능한 것이 아니라 “다른 사람의 이론을 가져와서” 해석하는 것이라고 설명했다. 이 때 경식(S1)이 말한 이론은 “다른 사람의 해석”이었으며, 그의 생각에 따르면 다른 사람의 시스템 해석 또는 시스템 그 자체였다. 그러나 시스템에 대한 해석이 주관적인 측면에서만 의미를 갖는 것이 아니라 “다른 사람의 공감을 얻을 수” 있는 객관적인 측면도 갖추어야 한다고 설명하였다.

연구자: (앞에서) 내가 보고자 하는 물체가 존재하는 공간에 대한 해석을 시스템이라고 했습니다. 시스템을 이해한다는 것은 무엇을 안다는 것인가요?

S1: 그 시스템이 돌아가는 원리에 대해서 잘 설명할 수 있다는 거요.

연구자: 지금 원리라는 말을 처음 사용했는데요. 시스템을 안다는 것을 원리를 포함하여 다시 설명하면 어떻게 되나요?

S1: 그러니까 원리라는 말이 조금 애매할 수도 있는데, 어쨌든 저는 과학하는 것이 일종의 해석이지 완전히 정답은 아니라고 생각하기 때문에, 이게 시스템에 대한 해석을 하는 것이 완전한 원리를 아는 것은 아니라고 생각해요. 사람들이 모두 공감할 수 있는 해석이 원리에 가깝다고 생각해요.

연구자: 그렇다면 원리라는 말을 다르게 사용할 수도 있겠네요?

S1: 음... 그럼 합리적인 설명?

연구자: 그럼, 정답 또는 원리, 합리적 설명 이런 것들이 절대적인 진리에 가까운 것이고 시스템을 이해한다는 것은 해석에 가까운 것인가요?

S1: 네.

연구자: 그럼 다시 물어볼게요. 시스템을 이해한다는 것은 무엇인가요?

S1: 잘 해석하는거요.

연구자: 그렇다면 시스템을 이해하는 것도 해석이고 (앞의 시스템에 대한 설명에서) 시스템도 해석이라고 했는데요.

S1: 네. 다른 사람들이 공감하면 해석인 것 같아요. 이 정도면 충분한 설명이지 않느냐 지금 기술로는 딱히 반박할 수 없는 것이 (해석인 것 같아요).

연구자: 그렇다면 우리는 어떤 방법으로 해석할 수 있나요?

S1: 이것도 좀 애매한데. 어쨌든 해석이고, 과학의 이론들이 다 일종의 해석이기 때문에. 어쨌든 다른 사람들의 해석을 가져다가 (다른 사람들이) 해석한다고 생각해요.

연구자: 순수하게 내 것은 없다는 건가요?

S1: 만들 수야 있겠지만 기본적으로는 누군가의 영향을 받은 거지요.

연구자: 그렇다면 시스템을 이해한다는 것은 다른 사람의 해석을 갖고 와서 물체를 해석하는 것인가요?

S1: 네.

#### 4.3.4. 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건

본 연구는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건을 제안한다(그림 4.5). 예비연구는 예비교사들의 문제풀이 과정을 분석하여 3가지 요소가 문제풀이에서 중요한 요소임을 도출하였다. 첫째, 유체로 구성된 시스템의 구성요소의 특징 이해와 제한조건을 파악해야 한다. 둘째, 유체 시스템에 작용하는 유효한 상호작용을 평가해야 한다. 셋째, 이 두 요소를 고려하여 시스템의 구성요소의 상태를 해석해야 한다.

예비연구의 결과를 보완하여 수행된 본 연구에서는 보존법칙을 적용한 문제풀이 과정에서 나타난 시스템과 관련된 추가 요소를 도출하였다. 본 연구를 통해 시스템과 주위의 경계 짓기가 물리적 상황 이해의 중요한 요소임을 확인할 수 있었다. 본 연구의 문제풀이 과정을 통해 4가지 요소를 추출하였다. 첫째, 마찰력의 유무, 이상기체, 이상유체의 조건과 같이 제시된 물리적 상황에 대한 제한조건과 구성요소의 특징을 파악해야 한다. 둘째, 적용해야 하는 보존법칙에 적합한 시스템과 주위의 경계를 명확히 해야 한다. 셋째, 시스템의 경계를 통해 구분되거나 작용하는 상호작용들인 내력과 외력, 열, 열역학적 일, 압력, 에너지 등을 이해해야 한다. 넷째, 해석하고자 하는 시스템 또는 시스템의 구성요소에 유효한 상호작용을 고려하여 대상의 상태를 해석해야 한다.

또한 심층면담에서도 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 요소들이 추출되었다. 첫째, 예비교사들은 구성요소의 특성과 제한조건 파악이 시스템에 대한 해석에서 중요하다고 설명하였다. 둘째, 예비교사들은 문제풀이 또는 탐구의 목적에 따라 시스템의 경계가 결정되며 선택된 시스템에 따른 다른 해석이 가능하다고 설명하였다. 셋째, 예비교사들은 시스템을 기준으로 정의되는 상호작용하는 물리량에 대한 이해와 함께

시스템에 유효하게 작용하는 상호작용의 추출의 중요성을 강조하였다.

따라서 본 연구에서는 제시된 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 (system-based understanding)의 4가지 조건을 제안한다. 첫째, 제시된 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 안다 (배경 상황의 파악). 둘째, 고려하고 있는 법칙과 원리가 적용되는 구성요소를 선택할 수 있다 (경계의 명료화). 셋째, 외부와의 유효한 상호작용을 선별하고 그 효과를 파악할 수 있다 (상호작용의 평가). 넷째, 시스템과 그 구성요소의 물리적 상태를 추정할 수 있다 (시스템 상태의 추정).

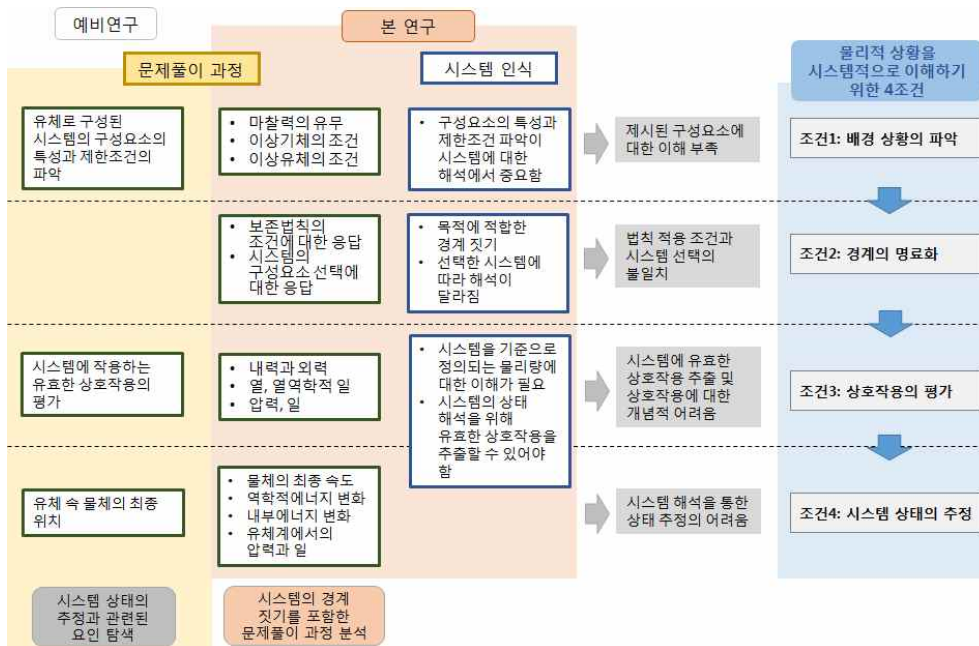


그림 4.5 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건(system-based understanding)

#### 4.4. 결론 및 시사점

본 연구는 1) 예비교사들은 시스템을 어떻게 인식하고 2) 문제풀이 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건을 살펴보는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 서울 소재 사범대학 물리교육 전공 학부생을 연구대상으로 선정하였다. 연구는 설문과 심층면담으로 수행되었으며, 설문에 참여한 63명과 면담에 참여한 6명의 응답을 분석하였다.

설문 문항은 개방형 설문지로 개방형 설문지로 연구자가 자체 개발하였으며 다음과 같이 구성되었다. 먼저, 설문 문항은 ① 시스템의 정의와 분류 ② 보존법칙의 적용 조건 ③ 문제풀이에서 사용한 시스템의 구성요소 선택 기준 ④ 문제풀이 과정에서 나타난 시스템 내부와 외부의 상호작용 이해 ⑤ 시스템과 그 구성요소의 상태를 추정하는 문항으로 구성되었다. 또한 면담을 통해서는 시스템에 대한 예비교사들의 심층적 이해를 살펴보기 위해서 ① 시스템에 대한 이해(정의, 배경 상황의 파악, 경계의 명료화, 상호작용의 평가, 시스템 상태의 추정) ② 물리학 및 과학에서 시스템 개념의 중요성 ③ 물리교육에서의 학습에서 시스템 개념의 중요성에 관해 질문하였다.

본 장에서는 연구 결과를 시스템의 정의, 배경 상황의 파악, 경계의 명료화, 상호작용의 평가, 시스템 상태의 추정을 중심으로 논의하도록 하겠다.

첫째, 예비교사들의 시스템에 대한 설명에서는 공간(31.1%), 물질(24.4%), 관찰(13.3%), 상호작용(8.9%) 순으로 핵심어가 사용되었다. 이는 선행 연구에서 부분들(parts), 집합(group), 상호작용(interaction), 기능(function)을 중심으로 시스템을 분류한 것과는 차이가 있었다. 그러나 설문 과정에서 대부분의 예비교사들이 하나의 문장으로 시스템을 정의하

고자 하였기 때문에 그들이 생각하는 시스템을 깊이 있게 설명하지 못했다고도 분석할 수 있다. 따라서 심층적인 면담을 추가적으로 수행하였다.

후속 연구로 진행된 면담을 통해서 예비교사들이 생각하는 시스템에 대해 자세히 살펴볼 수 있었다. 면담을 통해 드러난 시스템에 대한 예비교사들의 이해는 다음과 같은 특징이 있었다. 대부분의 예비교사들은 시스템을 물질과 에너지의 모임으로 설명하였으나, 시스템의 기능을 부각하여 설명한 응답도 나타났다. 물질의 모임으로 시스템이 구성된다고 설명한 예비교사는 홍기(S2), 기태(S4), 성수(S6)였다. 홍기(S2)는 ‘시스템은 여러 입자들의 모임’, 기태(S4)는 ‘시스템은 자연을 이루는 여러 가지 요소들의 집합’, 성수(S6)는 ‘공통된 관점을 이용해서 인지하고자 하는 것들의 묶음’으로 설명하였다. 이들은 ‘물질의 모임’으로서의 시스템 개념을 강조하였다.

반면, 경식(S1)은 ‘시스템은 공간에 대한 해석’, 태현(S3)은 ‘확연히 달라지는 구역’, 규철(S5)은 ‘물질과 에너지가 이동하는 경계’로 설명하였다. 즉, 경식(S1), 태현(S3), 규철(S5)은 ‘물질의 모임’을 해석하는 방식, ‘물질의 모임’에 영향을 주는 법칙에 따른 구역화, ‘물질의 모임’이 이동하는 경계로 시스템을 정의했다. 이는 예비교사들이 시스템의 경계 짓기를 ‘주체의 의도 또는 목적’과 관련하여 설명한 것이며, 시스템의 기능까지 고려하여 설명한 것으로 분석된다.

둘째, 문제풀이에서 나타난 시스템의 구성요소의 선택에서는 다음과 같은 특징이 나타났다. 예비교사들은 보존법칙 적용 조건에 적합한 구성요소를 선택하기 보다는 관찰대상 또는 최종적인 물리량을 계산하고자 하는 물체와 상호작용하는 물체들을 시스템의 구성요소로 선택하였다. 예를 들어, 예비교사들은 설문에서 선운동량 보존법칙과 역학적에너지 보존법칙이 적용되기 위해 알짜 외력의 합이 0이어야 한다고 설명했지만, 문제풀이 과정에서 시스템을 선택할 때 그 조건에 적합하도록 시스



템의 구성요소를 선정하고 외부와 구분하지 않았다. 이는 시스템의 구성 요소 선택과 경계 짓기와 보존법칙 적용이 유기적으로 연결되어 이해하지 못한다고 해석할 수 있다.

셋째, 상호작용에 대한 이해는 ‘경계 짓기’와 긴밀히 관련되었다. 홍기(S2)는 “시스템을 잡는 순간” 시스템과 외부가 구분되며, 시스템 ‘잡기’에 의해 시스템 내부에서의 상호작용, 시스템 외부에서의 상호작용, 시스템과 주위의 상호작용이 구분된다고 설명했다. 이러한 구분은 그들이 내력과 외력을 구분하거나 경계를 통한 에너지의 이동을 설명하는 데 중요한 역할을 했다. 예비교사들은 문제 상황에 따라 적용해야 하는 보존법칙의 종류와 물리량이 변하여도 시스템과 주위의 경계 짓기를 공통적으로 사용했다.

그렇지만 시스템의 경계 짓기를 하더라도 알아내고자 하는 목표 물리량에 따라 상이한 결과가 도출되기도 하였다. 비교를 위해 역학적에너지와 내부에너지의 변화 묻는 문항을 개발하였다(설문지 B-4,(1), 4.(2), 4.(3)). 역학적에너지와 내부에너지는 시스템 내부의 운동에너지와 퍼텐셜에너지의 합으로 정의된다. 그러나 내부에너지의 경우, 시스템 내부의 기체 분자들의 운동에너지와 퍼텐셜에너지를 계산하는 것이 쉽지 않기 때문에 측정 가능한 상호작용인 일과 열의 이동을 통해 정의된 열역학 제 1법칙을 통해 계산된다.

설문지 B의 4번 문항은 외력이 작용하는 동일한 조건에서 시스템 내부의 에너지 변화를 묻고 있다. 해당 문항은 3개의 하위 문항으로 구성되며 각 하위 문항은 (1) 역학적에너지 변화 (2) 단열계에서의 내부에너지 변화 (3) 비단열계에서 내부에너지 변화이다. (1)번 문항에서 대다수의 예비교사들은 역학적에너지가 증가한다고 응답했으며(79.2%), 일정하다는 의견이 소수(8.7%)가 있었다. 반면 (2)번 문항에서 단열계에서의 내

부에너지가 증가한다는 응답은 17.6%, 일정하다는 응답은 23.3%였으며, 감소한다는 응답이 47.1%로 가장 많았다.

이와 같이 역학적에너지와 내부에너지의 변화에 대한 예비교사들의 응답이 차이는 시스템의 경계 짓기에서 이유를 찾을 수 있었다. 첫째, 예비교사들은 기체와 피스톤을 하나의 시스템으로 선택하고 내부에너지 변화를 이해했다. 동일하게 외력이 작용했을 때 역학적에너지가 일정하다고 응답은 없었던 반면, 약 20%의 예비교사들이 내부에너지가 일정하다고 응답한 이유는 외력에 의한 피스톤의 운동에너지를 내부에너지에 포함하여 생각했기 때문이었다. 둘째, 외력에 의한 시스템의 경계 확장의 주체에 대한 관점의 차이가 서로 다른 응답을 가져왔다. 이에 대해 예비교사들은 시스템의 경계 확장의 주체를 기체로 생각했을 때 내부에너지가 감소한다고 설명한 반면, 피스톤에 작용한 외력에 의해 기체가 포함된 시스템의 부피가 확장되었기 때문에 내부에너지가 증가했을 것이라는 상반된 이해가 나타났다. 위의 결과를 토대로 시스템 내부의 에너지에 대한 개념은 구성요소 선택과 경계 짓기와 관련하여 이해할 필요가 있으며, 일 개념과 같이 경계를 통해 이동하는 개념의 주체에 대한 학습에서 주의를 기울여야 한다는 것을 시사한다.

이와 유사하게 내력과 외력의 구분에서 시스템의 경계 짓기는 개념 이해 및 학습에서 중요하게 다뤄질 필요가 있다. 문제풀이 과정에서 시스템의 규정 여부가 내력과 외력 구분에 영향을 주었으며, 문제풀이를 거치며 내력과 외력의 정의가 수정되기도 하였다. 문제풀이 전에 내력과 외력을 정확히 구분했던 학생이 시스템을 규정하지 않고 문제를 해결하는 과정에서 내력과 외력을 잘못 분류하는 어려움을 겪었다.

게다가 시스템의 안과 밖에서 작용하는 힘으로 내력과 외력을 구분했

던 예비교사가 힘의 상쇄 여부와 물체의 운동에 영향 여부로 문제풀이에서는 다르게 정의했다는 것에 주목할 필요가 있다. 이는 동일한 개념일지라도 개념의 이해와 적용에서 강조하는 포인트가 다를 수 있음을 보여주는 결과이다. 즉, 전자가 시스템을 중심으로 상호작용하는 물리량의 정의라면, 후자는 왜 시스템을 중심으로 물리량을 구분해야 하는지에 대한 이유를 설명해 줄 수 있다. 이는 시스템의 경계 짓기를 통한 구분과 필요성이 함께 고려된 학습의 필요성을 보여준다.

넷째, 시스템의 해석에서 시스템의 구성요소와 경계의 특성 이해와 그것을 토대로 경계를 출입하는 물리량이 이해되어야 한다. 설문지 B의 6번 문항은 이상유체가 단면적이 달라지는 관을 흐를 때의 에너지 보존을 묻는 문항으로 면적에 따른, 유체의 속도 비교, 유체계의 경계에 작용하는 압력 비교, 유체계가 받은 일과 한 일을 비교하는 문항으로 구성되었다. 대부분의 예비교사들이 면적이 작은 곳을 흐르는 유체의 속도가 증가함을 공식으로 유도하여 설명하였지만, 압력이 단면적을 지나는 유체의 양과 비례한다고 생각하였다. 이는 물체의 단면에 작용하는 유체의 충돌에 의한 힘과 단면적의 관계로 유도되는 압력과 열린계의 경계에 작용하는 압력을 동일하게 이해하였기 때문이다. 해당 문제는 유체계의 두 경계에서의 에너지 변화의 관점으로 압력이 이해되어야 한다. 이 때 압력의 크기는 에너지 변화는 3가지 일(일-운동에너지 정리, 압력에 의한 부피 변화, 일에 의한 위치에너지 변화)을 모두 고려하여 계산해야 한다.

이어지는 유체계의 경계에서 압력에 의한 일의 크기를 비교하는 문항도 유체계에 출입하는 일에 의한 에너지 변화를 묻는 문항이다. 압력에 의한 일의 크기를 이해하기 위해서는 일-운동에너지 정리에 의해 압력의 변화량을 계산하고, 서로 다른 압력이 동일한 부피를 변화시킬 때의 일의 크기를 비교해야 한다. 그러나 50%의 예비교사들은 ‘에너지가 보존

되어야 하기 때문에’, ‘직관적으로 같음’, ‘통과하는 유체의 양이 같아 압력이 같음’ 등의 이유로 두 일의 크기가 같다고 응답했다. 또한 앞에서 설명한 것과 같이 이 문항에서는 압력의 크기 비교하는 것이 선행되어야 하지만 예비교사들의 흐르는 유체에서의 압력에 대한 부정확한 이해가 일의 크기 변화를 설명할 때도 영향을 주었다.

본 연구에서는 제시된 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 (system-based understanding)의 4가지 조건을 제안한다. 첫째, 제시된 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 안다 (배경 상황의 파악). 둘째, 고려하고 있는 법칙과 원리가 적용되는 구성요소를 선택할 수 있다 (경계의 명료화). 셋째, 외부와의 유효한 상호작용을 선별하고 그 효과를 파악할 수 있다 (상호작용의 평가). 넷째, 시스템과 그 구성요소의 물리적 상태를 추정할 수 있다 (시스템 상태의 추정).

경계 짓기는 시스템의 구성요소, 시스템에 작용하는 상호작용, 시스템의 상태 추정과 긴밀히 연결되는 관찰자의 행위로, 이를 고려한 학습이 과학교육에 여러 측면에서 시사점을 줄 것으로 기대한다. 특히 물리적 상황의 시스템적 이해는 시스템의 경계의 명료화가 핵심 역할을 한다. 첫째, 시스템의 경계의 선택은 지속적으로 목적 달성에 적합한 경계의 다양한 탐색 시도에 관여한다. 둘째, 시스템의 경계는 시스템과 주위, 하위 시스템 간, 시스템의 구성요소 간의 상호작용을 구분하는 역할을 한다. 셋째, 제시된 문제 상황의 해석은 시스템의 경계 내부에서 상태 해석이므로 시스템의 경계에 따라 법칙의 적용이 결정되고 해석 또한 달라질 수 있다.

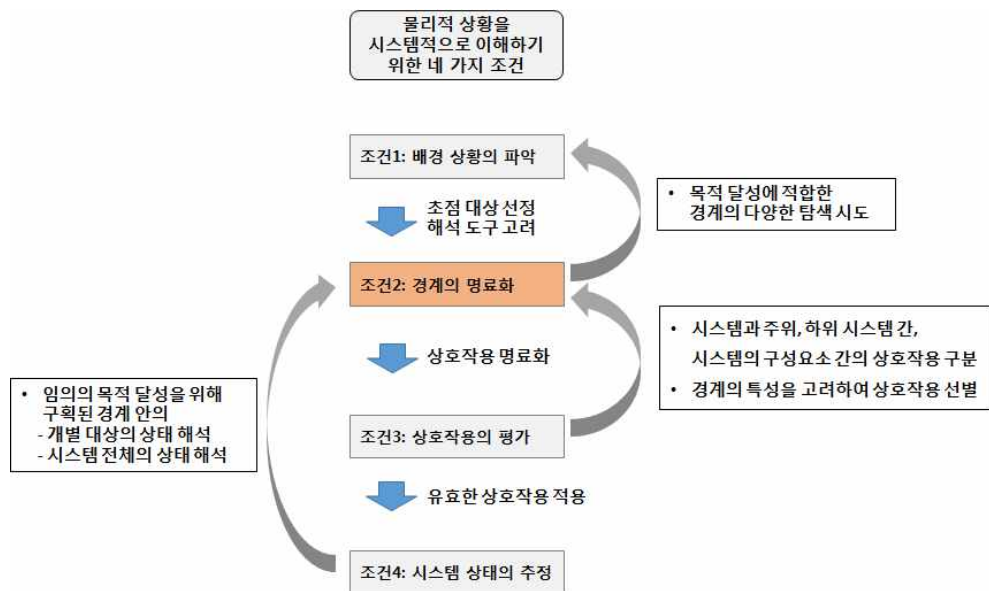


그림 4.6 시스템적으로 이해하기의 핵심 조건인 ‘경계의 명료화’

## 5. 요약 및 결론

### 5.1 요약 및 결론

브루너의 지식의 구조는 “한 사물을 엮어매고 있는 요소 또는 그 요소가 엮혀 있는 모양”이다. 지식의 구조뿐만 아니라 교과에도 구조가 존재하며, 교과의 구조는 개념 또는 매개체를 중심으로 구성할 수 있다. 교과의 학습은 교과의 구조를 파악하고 수행될 때 효율적이며 교과의 정수를 학습할 수 있다.

시스템은 물리학을 비롯한 여러 과학교과의 개념들의 핵심 고리 역할을 하며, 과학의 주요 개념인 에너지, 물질, 구조, 기능, 안정성, 변화 등과 긴밀히 연결되어 있다. 과학자들은 연구 목적에 적합한 시스템을 스스로 규정하고 연구 결과로부터 도출된 해석에 사용되며, 학습에서는 학생들의 개념 발달 및 통합적 사고 발달에 기여한다.

본 연구는 물리학의 이해와 보존법칙 문제풀이를 중심으로 예비교사들의 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 4가지 조건으로 배경상황의 파악, 경계의 명료화, 상호작용의 평가, 시스템 상태의 추정을 제안하였다. 교과의 골격으로서의 매개체인 시스템은 대상의 선정과 인식, 시스템과 주위의 경계 짓기를 통한 상호작용 이해, 해석 단계에서의 시스템의 기능과 관련된다. 이에 대한 근거는 예비교사들의 시스템에 대한 인식과 보존법칙 문제풀이 과정을 통해 도출하였다.

선행 연구 분석을 토대로 본 연구는 시스템적의 이해를 시스템의 ‘선택과 적용’이라는 두 측면에서 접근하였다. 시스템의 선택은 ‘시스템의 구성요소’와 시스템과 주위 또는 시스템과 다른 시스템을 구분하는 ‘경계

짓기'와 관련된다. 시스템의 적용은 시스템을 기준으로 한 '상호작용'과 '시스템 상태의 추정'과 관련된다.

예비연구는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건의 일부인 '배경 상황의 파악'과 '상호작용의 평가'에 대한 탐색 단계로 수행되었다. 예비연구의 자료 수집은 서울 소재 사범대학에 재학 중인 물리교육 전공자 40명을 대상으로 2012년 9월 첫째 주와 둘째 주에 걸쳐 실시하였다. 연구 참여자들은 학부 과정 2학년에서 4학년 예비교사들로 구성되었으며 모두 일반 물리학 이상의 강좌를 수강한 경험이 있었다. 예비연구의 분석 결과, 문제에서 제시된 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 파악하고 시스템에 작용하는 상호작용이 중요한 요소로 나타났다. 그러나 예비교사들은 시스템 내부의 구성요소의 물리적 특성에 따른 다양한 변수들을 추출하고 적용할 때 어려움을 겪었다. 이는 문제 상황에서의 '탐구 대상 선정 → 탐구 대상의 특성 파악 → 시스템과 외부의 경계 짓기 → 시스템 내부의 구성요소에 작용하는 상호작용 추출 및 적용'의 단계로 접근하지 못했기 때문이다. 또한 한 현상을 다수의 하위 시스템으로 구분하고 접근하기 보다는 하나의 시스템으로 분석하는 경향이 나타났다. 이는 물리적으로 확연히 구분되는 경계뿐만 아니라 하위 시스템 간의 상호작용으로 현상을 분석하는 학습을 시사한다.

그러나 예비연구가 시스템적으로 이해하기 위한 조건을 전체적으로 살펴보지 않았으며, 예비교사들이 생각하는 시스템의 경계 짓기와 시스템 상태의 추정을 명시적으로 드러내는 도구로서는 부족함이 있었다. 따라서 본 연구에서는 주제를 보존법칙 상황으로 제한하고, 각 조건을 구체적으로 살펴볼 수 있는 연구를 수행하였다. 본 연구는 설문과 심층면담으로 구성된다. 설문 참여자들은 서울 소재 사범대학에서 물리교육을 전공하는 학부생 63명이었다. 설문은 2014년 11월 말에서 12월 초까지

총 4회에 걸쳐 실시하였으며, 참여자들은 모두 일반물리학 수준 이상의 물리학 강좌를 수강한 경험이 있었다. 또한 2015년 7월에서 8월까지 6명의 물리교육 전공 학부생을 대상으로 1시간 이상의 심층면담을 수행하였다.

첫째, 예비교사들의 시스템에 대한 설명에서는 공간(31.1%), 물질과 에너지(24.4%), 관찰(13.3%), 상호작용(8.9%) 순으로 핵심어가 사용되었다. 이는 선행 연구에서 부분들(parts), 집합(group), 상호작용(interaction), 기능(function)을 중심으로 시스템을 분류한 것과는 차이가 있었다. 그러나 설문 과정에서 대부분의 예비교사들이 하나의 문장으로 시스템을 정의하고자 하였기 때문에 그들이 생각하는 시스템을 깊이 있게 설명하지 못했다고도 분석할 수 있다. 따라서 심층적인 면담을 추가적으로 수행하였다.

후속 연구로 진행된 면담을 통해서 예비교사들이 생각하는 시스템에 대해 자세히 살펴볼 수 있었다. 면담을 통해 드러난 시스템에 대한 예비교사들의 이해는 다음과 같은 특징이 있었다. 대부분의 예비교사들은 시스템을 물질과 에너지의 모임으로 설명하였으나, 시스템의 기능을 부각하여 설명한 응답도 나타났다. 물질의 모임으로 시스템이 구성된다고 설명한 예비교사는 ‘시스템은 여러 입자들의 모임’, ‘시스템은 자연을 이루는 여러 가지 요소들의 집합’, ‘공통된 관점을 이용해서 인지하고자 하는 것들의 묶음’으로 설명하였다. 반면, 시스템의 경계 짓기를 ‘주체의 의도 또는 목적’과 관련하여 설명하거나 시스템의 기능을 강조한 예비교사들도 있었다. 이들은 ‘시스템은 공간에 대한 해석’, ‘확연히 달라지는 구역’, ‘물질과 에너지가 이동하는 경계’로 설명하였으며, ‘물질의 모임’을 해석하는 방식, ‘물질의 모임’에 영향을 주는 법칙에 따른 구역화 등으로 주체의 목적을 강조하였다.



둘째, 문제풀이에서 나타난 시스템의 구성요소의 선택에서는 다음과 같은 특징이 나타났다. 예비교사들은 보존법칙 적용 조건에 적합한 구성요소를 선택하기 보다는 관찰대상 또는 최종적인 물리량을 계산하고자 하는 물체와 상호작용하는 물체들을 시스템의 구성요소로 선택하였다. 예를 들어, 예비교사들은 설문에서 선운동량 보존법칙과 역학적에너지 보존법칙이 적용되기 위해 알짜 외력의 합이 0이어야 한다고 설명했지만, 문제풀이 과정에서 시스템을 선택할 때 그 조건에 적합하도록 시스템의 구성요소를 선정하고 외부와 구분하지 않았다. 이는 시스템의 구성요소 선택과 경계 짓기와 보존법칙 적용이 유기적으로 연결되어 이해하지 못한다고 해석할 수 있다.

셋째, 상호작용에 대한 이해는 ‘경계 짓기’와 긴밀히 관련되었다. “시스템을 잡는 순간” 시스템과 외부가 구분되며, 시스템 ‘잡기’에 의해 시스템 내부에서의 상호작용, 시스템 외부에서의 상호작용, 시스템과 주위의 상호작용이 구분된다고 설명했다. 이러한 구분은 그들이 내력과 외력을 구분하거나 경계를 통한 에너지의 이동을 설명하는 데 중요한 역할을 했다. 예비교사들은 문제 상황에 따라 적용해야 하는 보존법칙의 종류와 물리량이 변하여도 시스템과 주위의 경계 짓기를 공통적으로 사용했다.

그렇지만 시스템의 경계 짓기를 하더라도 알아내고자 하는 목표 물리량에 따라 상이한 결과가 도출되기도 하였다. 운동에너지와 퍼텐셜에너지의 합으로 정의되는 두 에너지인 역학적에너지와 내부에너지의 변화에 대한 예비교사들의 응답은 시스템의 경계 짓기에서 어려움의 원인을 찾을 수 있었다. 첫째, 예비교사들은 기체와 피스톤을 하나의 시스템을 선택하고 내부에너지 변화를 이해했다. 동일하게 외력이 작용했을 때 역학적에너지가 일정하다고 응답은 없었던 반면, 약 20%의 예비교사들이 내부에너지가 일정하다고 응답한 이유는 외력에 의한 피스톤의 운동에너지

를 내부에너지에 포함하여 생각했기 때문이었다. 둘째, 외력에 의한 시스템의 경계 확장의 주체에 대한 관점의 차이가 서로 다른 응답을 가져왔다. 이에 대해 예비교사들은 시스템의 경계 확장의 주체를 기체로 생각했을 때 내부에너지가 감소한다고 설명한 반면, 피스톤에 작용한 외력에 의해 기체가 포함된 시스템의 부피가 확장되었기 때문에 내부에너지가 증가했을 것이라는 상반된 이해가 나타났다. 위의 결과를 토대로 시스템 내부의 에너지에 대한 개념은 구성요소 선택과 경계 짓기와 관련하여 이해할 필요가 있으며, 일 개념과 같이 경계를 통해 이동하는 개념의 주체에 대한 학습에서 주의를 기울여야 한다는 것을 시사한다.

이와 유사하게 내력과 외력의 구분에서 시스템의 경계 짓기는 개념 이해 및 학습에서 중요하게 다뤄질 필요가 있다. 시스템의 안과 밖에서 작용하는 힘으로 내력과 외력을 구분했던 예비교사가 힘의 상쇄 여부와 물체의 운동에 영향 여부로 문제풀이에서는 다르게 정의했다는 것에 주목할 필요가 있다. 이는 동일한 개념일지라도 개념의 이해와 적용에서 강조하는 포인트가 다를 수 있음을 보여주는 결과이다. 즉, 전자가 시스템을 중심으로 상호작용하는 물리량의 정의라면, 후자는 왜 시스템을 중심으로 물리량을 구분해야 하는지에 대한 이유를 설명해 줄 수 있다. 이는 시스템의 경계 짓기를 통한 구분과 필요성이 함께 고려된 학습의 필요성을 보여준다.

넷째, 시스템의 해석에서 시스템의 구성요소와 경계의 특성 이해와 그것을 토대로 경계를 출입하는 물리량이 이해되어야 한다. 유체계 문제풀이에서 대부분의 예비교사들이 면적이 작은 곳을 흐르는 유체의 속도가 증가함을 공식으로 유도하여 설명하였지만, 압력이 단면적을 지나는 유체의 양과 비례한다고 생각하였다. 이는 물체의 단면에 작용하는 유체의 충돌에 의한 힘과 단면적의 관계로 유도되는 압력과 열린계의 경계에

작용하는 압력을 동일하게 이해하였기 때문이다. 해당 문제는 유체계의 두 경계에서의 에너지 변화의 관점으로 압력이 이해되어야 한다. 이 때 압력의 크기는 에너지 변화는 3가지 일(일-운동에너지 정리, 압력에 의한 부피 변화, 일에 의한 위치에너지 변화)을 모두 고려하여 계산해야 한다.

이어지는 유체계의 경계에서 압력에 의한 일의 크기를 비교하는 문항도 유체계에 출입하는 일에 의한 에너지 변화를 묻는 문항이다. 압력에 의한 일의 크기를 이해하기 위해서는 일-운동에너지 정리에 의해 압력의 변화량을 계산하고, 서로 다른 압력이 동일한 부피를 변화시킬 때의 일의 크기를 비교해야 한다. 그러나 50%의 예비교사들은 ‘에너지가 보존되어야 하기 때문에’, ‘직관적으로 같음’, ‘통과하는 유체의 양이 같아 압력이 같음’ 등의 이유로 두 일의 크기가 같다고 응답했다. 또한 앞에서 설명한 것과 같이 이 문항에서는 압력의 크기 비교하는 것이 선행되어야 하지만 예비교사들의 흐르는 유체에서의 압력에 대한 부정확한 이해가 일의 크기 변화를 설명할 때도 영향을 주었다.

결론적으로 예비교사들은 시스템에 대해 다양한 설명이 나타났으며, 이는 전체 구성요소의 특성 파악, 경계 짓기, 상호작용, 시스템의 상태 추정이 혼합된 형태를 보였다. 또한 문제풀이를 통해 경계 짓기가 시스템 기반 이해의 속성 중에서 핵심적인 역할을 하였다. 경계 짓기는 시스템의 구성요소, 시스템에 작용하는 상호작용, 시스템의 상태 추정과 긴밀히 연결되는 관찰자의 행위로, 이를 고려한 학습이 과학교육에 여러 측면에서 시사점을 줄 것으로 기대한다.

종합해 보면, 예비교사들은 시스템을 다양한 측면에서 서술하거나 시스템에 대해 명확하게 대답하지 못하였지만, 물리학의 대상이 되는 물체

및 현상과 그것을 다루는 방법에 대해서 그들 자신의 생각을 확립하고 있었다. 그 생각은 물리학을 바라보고 해석하는 관점이며 사고방식일 가능성이 내포한다. 또한 교과와 구조로서의 시스템은 특정 개념과 밀접히 관련되며 범용성을 갖췄다는 점에서도 가치가 있다.

## 5.2 제언 및 후속 연구 과제

본 연구를 통해 얻은 시사점 및 연구의 한계점과 관련된 후속 연구를 제안하고자 한다.

물리학의 구조를 수립은 특정 물리량, 물리 개념, 탐구 과정을 통해 제안될 수도 있다. 그러나 시스템은 대부분의 물리량, 물리 개념은 물론 탐구 과정에도 관련되는 범용성을 갖추고 있다. 본 연구에서는 연구자가 제안한 시스템 기반 이해를 예비교사들을 대상으로 시스템의 이해와 문제풀이 과정에서 살펴보았다.

첫째, 교과와 구조라는 측면에서 교수자는 물리 교과와 구조를 시스템을 중심으로 구축하는 것이 선행되어야 한다. 그런 점에서 예비교사는 학습자와 교사의 중간자적 단계로 교수와 학습을 포함하는 시사점을 도출할 수 있는 대상이다. 그러나 중등과정에서 물리학을 학습하는 학생과 실제 현장에서 물리학을 가르치는 물리교사를 대상으로 수행한 연구 결과는 예비교사를 통해 도출한 연구 결과와 차이가 있을 수 있다. 따라서 본 연구의 결과를 토대로 교사와 학생을 대상으로 시스템에 대한 연구를 진행하는 것이 요구된다.

둘째, 물리학은 개념 이해와 탐구와 관련된 실천의 두 가지 측면에서 다뤄져야 한다. 본 연구는 예비교사들이 문제풀이 과정에서의 실천을 주목하였지만 실험 등의 탐구 과정에서의 실천과는 차이가 있다. 탐구 과

정에서도 탐구 목적에 따른 대상의 선택, 탐구 대상의 특성 파악, 탐구 대상과 탐구하지는 않지만 영향을 주는 주위와의 경계 짓기, 탐구하고자 하는 시스템 내부와 외부에서의 상호작용, 그리고 선택한 시스템에 대한 해석 등이 관련된 행위이다. 따라서 교과와 구조로서의 시스템을 이해하기 위해서는 탐구의 실천에 대한 연구가 요구된다.

셋째, 본 연구는 보존법칙 문제풀이에서 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건을 단계별로 제시하였다. 그렇지만 보존법칙 이외에도 장(field), 시공간, 복잡계, 인과관계, 통계를 통한 시스템 이해 등 다양한 주제에서 시스템에 대해 논의할 수 있는 가능성이 있다. 물리학의 주요 개념 및 방법에 대해서도 지속적인 연구가 요구된다.

넷째, 교육과정 개발에 대한 기초 연구로서 후속 연구가 필요하다. 새로운 교육과정이 개편될 때의 중점은 특정 지식의 추가 및 삭제에 치중하고 있다. 물리학이라는 교과는 역사적으로 정립된 이론을 순차적으로 학습하거나 현 시점에서 중요하다고 판단되는 지식 또는 정보를 제공하는 것에 한정되는 것은 위험하다. 교육과정 구성의 뼈대가 무엇이 되어야 하며 어떤 방식으로 전달되어야 하는지에 대해서 장기적인 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- 강호감, 김은진, 노석구, 박현주, 손정우, & 이희순. (2007). 통합과학교육. 경기 파주: 한국학술정보.
- 권재술 등 (2012). 과학교육론. 교육과학사
- 김승곤, 김장환, 엄정인, 오히균, 최상돈 역. Schroeder 저 (2001). 열 및 통계물리학. 홍릉과학출판사, 서울. 31p
- 김은경, 최호명. (2010). 일반화된 탄동진자를 통한 선운동량과 각운동량 보존 연구. 새물리, 60(7), 702-709.
- 김지영, 박지은, 윤희정, 박은미, & 방담이. (2014). 과학과 인문학의 통합 개념 선정을 위한 델파이 연구. 한국과학교육학회지, 34(6), 549-558.
- 김익균, 박종원. (2008). 다양한 상황의 중력 문제에 대한 대학생들의 통합적 이해과정. 새물리, 56(6), 475-482.
- 김희경, 김희진. (2009). 유체에서 압력의 작용에 대한 대학생들의 개념. 새물리, 59(4), 329-335.
- 방담이, 박은미, 윤희정, 김지영, 이윤하, 박지은, ... & 이현숙. (2013). Big idea 를 중심으로 한 통합형 과학 교육과정 틀 설계. 한국과학교육학회지, 33(5), 1041-1054.
- 변태진. (2012). House model을 이용한 학생들의 물리 문제 해결 과정에 대한 이해. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 손연아, & 이학동. (1999). 연구논문: 통합과학교육의 방향 설정을 위한

- 이론적 고찰. 한국과학교육학회지, 19(1), 41-61.
- 오필석. (2007). 연구논문: 중등학교 지구과학 수업에서 과학적 모델의 활용 양상 분석: 대기 및 해양 지구과학 관련 수업을 중심으로. 한국과학교육학회지, 27(7), 645-662.
- 이재석, 이봉우. (2010). 부력에 대한 초중등 학생들의 개념 분석. 새물리, 60(2), 93-99.
- 이윤하, 윤희정, 송주연, & 방담이. (2014). 통합개념을 중심으로 한싱가포르, 캐나다와 미국의 과학교육과정 내용 요소 분석. 한국과학교육학회지, 34(1), 21-32.
- 이주현, 송진웅 (2007). 물리 전공 학생들의 엔트로피 개념에 대한 이해의 어려움. 새물리, 55(4), 182-191.
- 이홍우 (1987). 브루너 지식의 구조. 교육과학사, 서울.
- 이홍우 역 (1988). J. S. 브루너 저, Bruner 교육의 과정, 배영사, 서울.
- 장은경, 고운, 강성주 (2012). 모델링 탐구 활동에서의 대학생의 모델링 유형 분석 및 인식. 한국과학교육학회지, 32(1), 1-14.
- 정용욱, 송진웅 (2011). 에너지 및 에너지 보존 개념에 대한 존재론적 분석과 교육적 시사점, 61(9), 850-861.
- 지영래, 정용욱, 송진웅 (2016). 역학의 보존법칙 문제풀이 과정에서 나타난 대학생들의 계에 대한 이해의 특징 분석. 새물리, 출간 예정.
- American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for science literacy*. Oxford University Press.
- Beer, S. (1966). Decision and Control. London, Wiley.

- Checkland, P. (1981). *Systems Thinking, Systems Practice*. Chichester, Wiley
- Churchman, C. W. (1968). *The Systems Approach*. New York, Dell Publishing.
- Churchman, C. W. (1971). *The Design of Enquiring Systems*. New York, Basic Books.
- Churchman, C. W. (1979). *The Systems Approach and its Enemies*. New York, Basic Books.
- Danusso, L., Testa, I., & Vicentini, M. (2010). Improving prospective teachers' knowledge about scientific models and modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871-905.
- Fogarty, R. (1991). Ten ways to integrated curriculum. *Educational Leadership*, 49(2), 61-65.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.
- Hall, A. D. (1962). *A methodology for systems engineering*. N.Y., Van Nostrand Reinhold.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2010). *Fundamentals of physics extended* (Vol. 1). John Wiley & Sons.
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9),



1019-1041.

Halloun, I. A. (2007). *Modeling theory in science education* (Vol. 24). Springer Science &Business Media.

Khan, S. (2007). Model-based inquiries in chemistry. *Science Education*, 91(6), 877-905.

Klir, G. J. (1991). *Facets of systems science*. New York, Plenum Press.

Kohnle, A., Baily, C., Campbell, A., Korolkova, N., & Paetkau, M. J. (2015). Enhancing student learning of two-level quantum systems with interactive simulations. *American Journal of Physics*, 83(6), 560-566.

Lee, M. G. (2014). Characteristics and Trends in the Classifications of Scientific Literacy Definitions. [Characteristics and Trends in the Classifications of Scientific Literacy Definitions]. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 34(2), 55-62.

Lutgens, F. K., & Tarbuck, E. J. (2008). *Foundations of Earth Science*. Ediz. Internazionale. Per Le Scuole Superiori. Con CD-ROM. Pearson Prentice Hall.

Mingers, J. (2006). *Realising Systems Thinking: Knowledge and Action in Management Science: knowledge and action in management science* (Vol. 14). Springer Science &Business Media.

National Research Council (Ed.). (1996). *National science education standards*. National Academy Press.

National Research Council. (1996). National science education standards: National Academy Press.

National Research Council. (2012). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. (2012). The National Academies Press.

Next Generation Science Standards: For States, By States. (2013). The National Academies Press.

Oxtoby, D. W., Gillis, H. P., & Nachtrieb, N. H. (2002). Principles of Modern Chemistry, ; Thomson Learning. Inc.: San Francisco, CA, 376-381.

Peters, R. S., & Hirst, P. (1970). The logic of education. The logic of education.

Samiullah, M. (2007). What is a reversible process?. *American Journal of Physics*, 75(7), 608-609.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ... & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.

- Schweingruber, H., Keller, T., & Quinn, H. (Eds.). (2012). *A Framework for K-12 Science Education:: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. National Academies Press.
- Science, American Association for the Advancement of Science. (1989). *Science for all Americans* Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- Science, American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for scientific literacy*. New York: Oxford University Press.
- Ulrich, W. (1994). *Critical Heuristics of Social Planning: a New Approach to Practical Philosophy*. Chichester, Wiley
- Von Bertalanffy, L. (1950). The theory of open systems in physics and biology. *Science*, 111(2872), 23-29.
- Weinberg, G. M. (1975). *An introduction to general systems thinking*. N.Y., Wiley.
- Young, H. D., Freedman, R. A., & Ford, L. (2006). *Sears and Zemansky's university physics* (Vol. 1). Pearson education.



## 설문지

본 설문은 서울대학교 상황물리교육연구실 박사과정의 연구자가 실시하는 연구입니다. 설문 내용은 유체의 압력과 부력으로, 향후 교수방법에 대한 시사점을 얻을 수 있는 중요한 기초 자료가 될 것입니다.

본 설문지의 응답 내용은 오직 연구 목적으로만 활용됩니다. 또한 인적 사항이나 응답내용은 오직 연구자들만 확인할 수 있으며, 이후 사적인 용도로 절대 이용되지 않을 것입니다.

차분히 설문지 문항을 읽고 끝까지 성실하게 응해주시기 바랍니다.

\_\_\_\_\_대학 \_\_\_\_\_학과

이 름 : \_\_\_\_\_ ( 남 , 여 )

연락처 : \_\_\_\_\_

이메일 : \_\_\_\_\_



상황물리교육 연구실  
Education of Physics in Context

사범대학 물리교육과 상황물리교육연구실 (<http://epic.snu.ac.kr>)

설문은 순서대로 작성해주시고, 작성 전 다음 장의 질문을 확인하지 않으시기 바랍니다. 작성 과정에서 앞의 문제에 대한 답을 수정하지 않으시면 감사하겠습니다.

<기본 정보>

1. 본인이 부력에 대해서 처음으로 접한 시기와 최근에 접한 시기는 각각 언제입니까?

A. 처음 - \_\_\_\_\_

B. 최근 - \_\_\_\_\_

2. 고등학교에서 수강한 과학 선택과목과 수능에서 선택한 과학 과목, 대학에서 수강한 물리 강좌를 모두 써주세요.

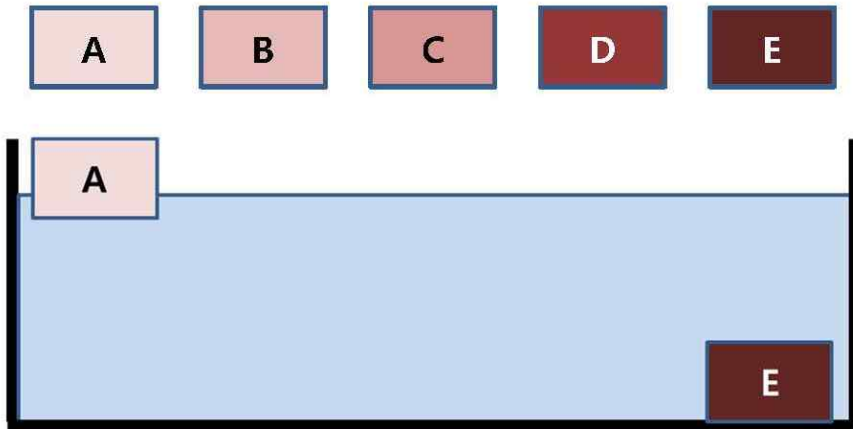
A. 고등학교 수강 과목 - \_\_\_\_\_

B. 대학수학능력시험 선택과목 - \_\_\_\_\_

C. 대학에서 수강한 물리강좌 - \_\_\_\_\_

[문항1] 물체 A와 E를 물에 넣었을 때의 위치가 아래 그림과 같다. 물체 B, C, D를 물에 넣었을 때의 위치를 그림으로 나타내고 그 이유를 설명해주세요.

질량:  $A < B < C < D < E$   
부피:  $A = B = C = D = E$



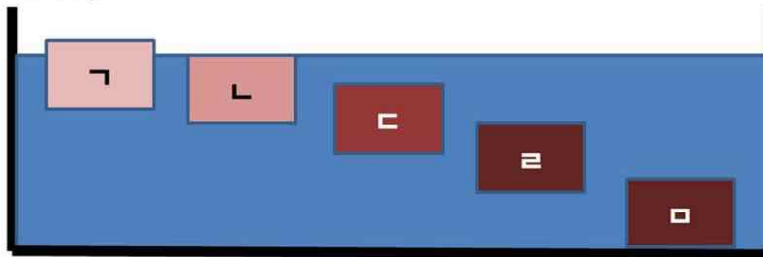
[문항2] 액체와 밀도가 같은 물체를 아래 그림과 같은 위치에서 손으로 잡고 있다가 놓았다.

오랜 시간이 지난 후 물체의 위치는 어떻게 되는지

<보기>에서 고르고, 그 이유를 부력을 이용해서 설명해 주세요.



<보 기>



(a) 위치 - ( )

(b) 이유



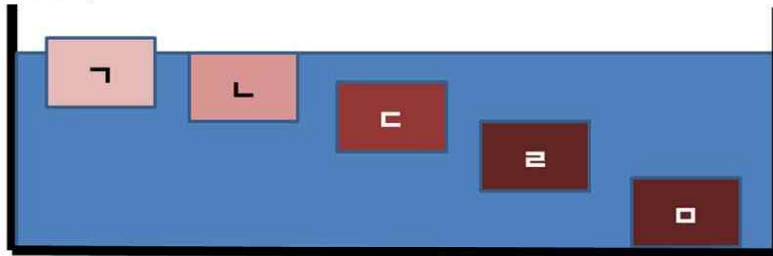
[문항3] 액체와 밀도가 같은 물체를 아래 그림과 같은 위치에서 손으로 잡고 있다가 놓았다.

오랜 시간이 지난 후 물체의 위치는 어떻게 되는지

<보기>에서 고르고, 그 이유를 부력을 이용해서 설명해 주세요.



<보 기>



(a) 위치 - (                      )

(b) 이유

[문항4] 오랜 시간이 지난 후 물질 A가 그림과 같이 위치해 있다.



(1) 각 문제에 제시된 물리량의 크기를 부등호 또는 등호 써서 표시하고, 그 이유를 설명해 주세요.

1) ㉠ 액체 1의 밀도, ㉡ 액체 2의 밀도, ㉢ 물질 A의 밀도

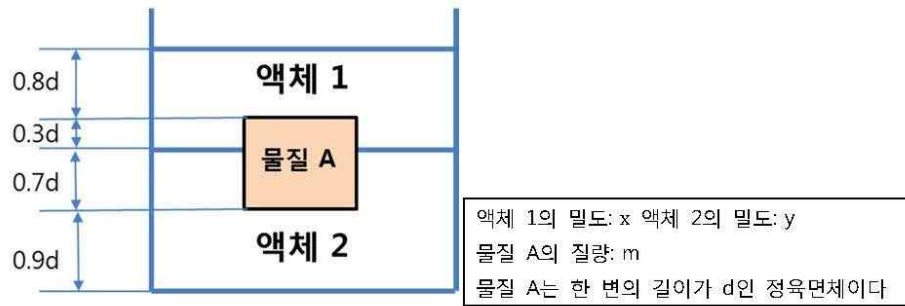
2) ㉠ 물질 A에 작용하는 액체 1의 부력의 크기, ㉡ 물질 A에 작용하는 액체 2의 부력의 크기

3) ㉠ 물질 A에 작용하는 중력의 크기, ㉡ 물질 A에 작용하는 액체 1의 부력의 크기

4) ㉠ 물질 A에 작용하는 중력의 크기, ㉡ 물질 A에 작용하는 액체 2의 부력의 크기

(2) 물질 A에 작용하는 액체 1의 부력의 방향과 액체 2의 부력의 방향은 어느 방향인지  
써주세요.

[문항5] 오랜 시간이 지난 후 물질 A가 그림과 같이 위치해 있다.



(1) 물질 A가 정지해 있을 때, 물질 A의 밀도는? (                      )

- ①  $0.8x + 0.9y$     ②  $0.8x + 0.7y$     ③  $0.3x + 0.7y$   
 ④  $0.3x + 0.9y$     ⑤  $1.1x + 1.6y$

(2) 그 이유는 무엇인지 자세히 설명해 주세요.

수고하셨습니다. 끝까지 성실하게 응답해 주셔서 감사합니다.  
본 설문 결과를 과학교육의 의미 있는 결과로 발전시킬 수  
있도록 노력하겠습니다.

## 설문지

본 연구는 물리학의 보존법칙에 대한 대학생들의 이해를 알아보기 위한 것으로, 향후 역학의 교수 방법에 대한 시사점을 얻을 수 있는 중요한 기초 자료가 될 것입니다. 본 설문지의 응답 내용은 오직 연구 목적으로만 활용됩니다. 또한 인적 사항이나 응답 내용은 오직 연구자들만 확인할 수 있으며, 이후 사적인 용도로 절대 이용되지 않을 것입니다.

설문지 문항을 읽고 해당하는 곳에 O표 해주시기 바랍니다.

### I. 기초 자료

1. 이름 :

2. 핸드폰:

3. 고등학교에서 본인이 이수했던 교과목

물리 I (        ) 화학 I (        ) 생명과학 I (        ) 지구과학 I (        )  
물리 II (        ) 화학 II (        ) 생명과학 II (        ) 지구과학 II (        )

4. 대학교에서 본인이 이수했던 물리 교과목

일반물리 (        ) 역학1 (        ) 역학2 (        )  
광학 (        ) 전자기학1 (        ) 전자기학2 (        )  
현대물리 (        ) 양자역학1 (        ) 양자역학2 (        )  
열통계학 (        ) 기타 (        )

1. 다음은 과학에서 사용되는 계(system)에 대한 질문입니다. 각 문항에 대해 구체적으로 설명해주세요.

(1) 과학에서 사용되는 계의 정의를 써주세요.

(2) 다음 계에 대한 정의를 써주세요.

① 고립계(isolated system):

② 단열계(Adiabatic system):

③ 닫힌계(closed system):

④ 열린계(open system):

(3) ① 내력(internal force)과 외력(external force)을 각각 설명하고, ② 이 두 힘은 어떻게 구분되는지 설명해주세요. 그리고 ③ 내력과 외력을 구분하는 것이 필요한 이유를 써주세요.

① 내력:

외력:

② 내력과 외력의 구분 기준:

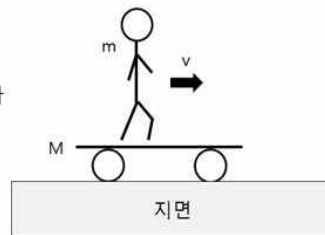
③ 내력과 외력의 구分的 필요성:

2. 다음은 선운동량 보존법칙에 대한 문제입니다. 각 문항에 대해 구체적으로 설명해주세요.

(1) 선운동량 보존법칙에 대해 설명해 주세요.

(2) 선운동량 보존법칙이 성립하는 조건을 설명해 주세요.

(3) 오른쪽 그림에서 질량  $m$ 인 사람이 지면에 정지해 있는 질량  $M$ 인 수레에 올라타고 있습니다. 수레에 타기 직전의 사람의 수평방향 속도가  $v$ 였다면, 수레에 오른 후에 수레와 사람의 수평방향 속도를 운동량 보존법칙을 이용하여 설명해 주세요(단, 지면과 수레 사이의 마찰은 없습니다).

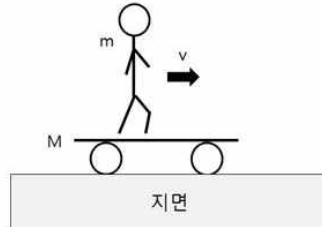


(4) 문항 2-(3) 해결을 위해서 계를 이용하였으면 1)번 문항에, 계를 이용하지 않았으면 2)번 문항에 답하세요.

1) (계를 이용했으면) 본인이 규정한 계의 구성요소를 쓰고 그렇게 구성요소를 규정한 이유를 설명해주세요.

2) (계를 이용하지 않았다면) 계를 이용하지 않은 이유는 무엇인지 설명해주세요.

(5) 문항 2-(3)의 상황에서 사람이 착지하는 순간에 작용하는 힘을 아래 그림에 모두 표시하고, 각 힘을 외력과 내력으로 구분해 주세요. 각 힘을 이와 같이 구분한 이유를 설명해주세요.



- 이유:

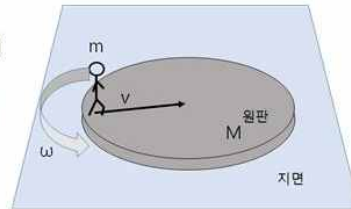
3. 다음은 각운동량 보존법칙에 대한 문제입니다.

(1) 각운동량 보존법칙에 대해 설명해 주세요.

(2) 각운동량 보존법칙이 성립하는 조건을 설명해 주세요.



- (3) 오른쪽 그림과 같이 반지름이  $R$ 이고 질량이  $M$ 인  
지면에 놓여 있는 원판의 가장자리에 질량  $m$ 인 사람이  
가만히 서 있다. 그리고 원판의 중심을 축으로 하여  
사람과 원판이 일정한 각속도  $\omega$ 로 회전하고 있습니다.



원판의 기준계에서 볼 때, 사람이 일정한 속도  $v$ 로  
갑자기 출발하여 원판의 중심으로 이동하였습니다.

사람이 원판의 중심에 도착했을 때의 각속도를

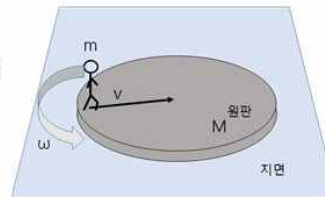
각운동량 보존법칙을 이용하여 구하세요(단, 지면과 원판 사이의 마찰은 없고, 사람은 원판에서  
미끄러지지 않습니다).

- (4) 문항 3-(3) 해결을 위해서 계를 이용하였으면 1)번 문항에, 계를 이용하지 않았으면 2)번  
문항에 답하세요.

- 1) (계를 이용했으면) 본인이 규정한 계의 구성요소를 쓰고 그렇게 구성요소를 규정한 이유를  
설명해주세요.

- 2) (계를 이용하지 않았다면) 계를 이용하지 않은 이유는 무엇인지 설명해주세요.

- (5) 문항 3-(3)의 상황에 작용하는 힘을 **아래 그림에** 모두  
표시하고, 각 힘을 외력과 내력으로 구분해 주세요. 각 힘을  
이와 같이 구분한 이유를 설명해주세요.



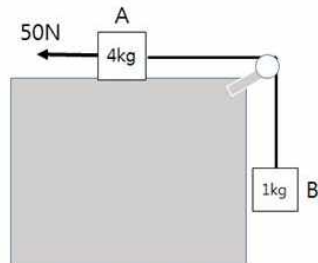
-이유

4. 다음은 역학적에너지 보존법칙에 대한 문제입니다. 각 문항에 대해 구체적으로 설명해주세요.

(1) 역학적에너지 보존법칙에 대해 설명해 주세요.

(2) 역학적에너지 보존법칙이 성립하는 조건을 설명해 주세요.

(3) 아래 그림과 같이 질량이 각각 4kg, 1kg인 물체 A, B가 질량을 무시할 수 있는 일정한 길이의 실로 연결되어 정지해 있습니다. 이 때 물체 A에 그림과 같이 일정한 힘  $F=50\text{N}$ 이 작용하고 있습니다(단, 중력가속도는  $10\text{ m/s}^2$ 이고, 모든 마찰력과 공기저항은 무시한다).



1) 정지해 있던 물체 A, B가 10m 이동하였을 때, 역학적에너지의 변화 여부를 아래에서 고르고, 그 이유를 설명하세요.

① 보존된다 (     )    ② 보존되지 않는다 (     )    ③ 기타 (     )

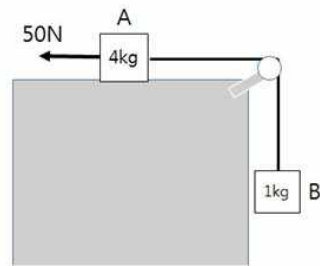
-이유:

(4) 문항 4-(3) 해결을 위해서 계를 이용하였으면 1)번 문항에, 계를 이용하지 않았으면 2)번 문항에 답하세요.

1) (계를 이용했으면) 본인이 규정한 계의 구성요소를 쓰고 그렇게 구성요소를 규정한 이유를 설명해주세요.

2) (계를 이용하지 않았다면) 계를 이용하지 않은 이유는 무엇인지 설명해주세요.

(5) 문항 4-(3)의 상황에 작용하는 힘을 오른쪽 그림에 모두 표시하고, 각 힘을 외력과 내력으로 구분해 주세요. 각 힘을 이와 같이 구분한 이유를 설명해주세요.



-이유:

5. 설문 과정에서 문제의 의도를 파악하기 어려웠던 부분이나 답하기 어려웠던 점을 써주세요.

# 설 문 지

본 연구는 계에서의 일과 에너지에 대한 대학생들의 이해를 알아보기 위한 것으로, 향후 계를 중심으로 한 역학, 열역학, 유체역학의 교수방법에 대한 시사점을 얻을 수 있는 중요한 기초 자료가 될 것입니다. 본 설문지의 응답 내용은 오직 연구 목적으로만 활용됩니다. 또한 인적 사항이나 응답 내용은 오직 연구자들만 확인할 수 있으며, 이후 사적인 용도로 절대 이용되지 않을 것입니다.

설문지 문항을 읽고 해당하는 곳에 O표 해주시기 바랍니다.

## I. 기초 자료

1. 이름 :

2. 핸드폰:

3. 고등학교에서 본인이 이수했던 교과목

물리 I (        ) 화학 I (        ) 생명과학 I (        ) 지구과학 I (        )  
물리 II (        ) 화학 II (        ) 생명과학 II (        ) 지구과학 II (        )

4. 대학교에서 본인이 이수했던 교과목

일반물리 (        ) 역학 I (        ) 역학2 (        )  
광학 (        ) 전자기학1 (        ) 전자기학2 (        )  
현대물리 (        ) 양자역학1 (        ) 양자역학2 (        )  
열통계학 (        ) 기타 (        )

1. 다음은 과학에서 사용되는 계(system)에 대한 질문입니다. 각 문항에 대해 구체적으로 설명해주세요.

(1) 과학에서 사용되는 계의 정의를 써주세요.

(2) 다음 계에 대한 정의를 써주세요.

① 고립계(isolated system):

② 단열계(Adiabatic system):

③ 닫힌계(closed system):

④ 열린계(open system):

2. (1) 열역학 1법칙의 정의를 쓰고, (2) 열역학 1법칙을 적용할 수 있는 계와 조건을 써주세요.

(1) 정의:

(2) 적용할 수 있는 계:

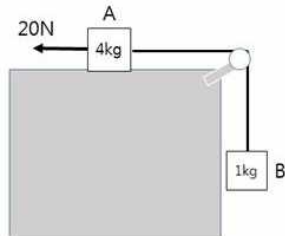
조건:

3. 역학과 열역학에서 일의 정의를 써주세요.

역학의 일:

열역학에서의 일:

4. 그림 (가)는 두 물체가 질량을 무시할 수 있는 줄로 연결되어 있으며, 지면과 마찰이 없는 상태로 정지해 있습니다. 그림 (나)는 이상기체가 채워진 실린더가 평형상태를 이루고 있습니다. 피스톤의 질량과 모든 마찰은 무시할 수 있습니다. 다음 물음에 답해주세요(단, 중력가속도는  $10\text{ m/s}^2$ 이며, 실린더와 피스톤을 통한 열의 이동은 없습니다).



(가)



(나)

- (1) 그림 (가)의 정지해 있던 두 물체 중, 물체 A에 일정한 힘 20N을 왼쪽 방향으로 작용하였습니다. 물체가 10m 이동하는 과정에서의 두 물체 계의 역학적에너지의 크기의 변화를 선택하고, 그 이유를 설명해주세요.

증가한다 (     )    감소한다 (     )    일정하다 (     )    알 수 없다 (     )

-이유:

- (2) 그림 (나)의 평형상태에 있던 기체 계의 피스톤에 오른쪽 방향으로 일정한 힘 10 N이 작용하여, 피스톤이 처음위치에서 오른쪽으로 10m 이동하는 과정에서의 기체 계의 내부에너지의 크기의 변화를 선택하고, 그 이유를 설명해주세요.

증가한다 (     )    감소한다 (     )    일정하다 (     )    알 수 없다 (     )

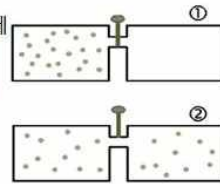
-이유:

③ 기체 계를 경계로 열이 이동할 수 있다면, 기체 계의 내부 에너지는 '문항 4-(2)'에 대한 응답과 어떻게 달라지는지 선택하고, 그 이유를 써주세요.

동일하다 (        )      달라진다 (        )      알 수 없다 (        )

-이유:

5. 오른쪽 그림의 ①번 상황은 닫힌 밸브를 경계로 하여 왼쪽에는 이상기체가 들어있고 오른쪽은 진공 상태입니다. 그리고 그림 ②는 밸브를 열어 왼쪽의 기체가 자유롭게 오른쪽으로 이동하는 상황입니다. 다음 질문에 답해주세요.



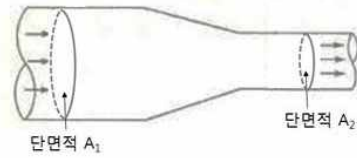
(1) 이와 같은 자유팽창 과정에서 기체가 한 일을 설명해주세요.

(2) 기체가 한일을 설명하기 위해 계를 이용하였으면 1)번 문항에, 계를 이용하지 않았으면 2)번 문항에 답하세요.

1) (계를 이용했으면) 본인이 규정한 계의 구성요소를 쓰고 그렇게 구성요소를 규정한 이유를 설명해주세요.

2) (계를 이용하지 않았다면) 계를 이용하지 않은 이유는 무엇인지 설명해주세요.

6. 오른쪽 그림과 같이 단면적이  $A_1$ 에서  $A_2$  ( $A_1 > A_2$ )로 변하는 원통형 관에, 밀도  $\rho$ 인 이상유체가 오른쪽 방향으로 흐르고 있다. 단면  $A_1$ 에 작용하는 유체의 압력은  $p_1$ , 유체속도는  $v_1$ 이고, 단면  $A_2$ 에 작용하는 유체의 압력은  $p_2$ , 유체속도는  $v_2$ 이다.



- (1) 이상유체가 관을 따라 흐를 때, 단면적과 유체속도와의 관계식을 유도하고, 그 관계식을  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ 로 표현하세요.

-유도:

-관계식:

- (2) 동일한 시간 동안, 단면  $A_1$ 에 작용하는 압력  $p_1$ 에 의해 유체계가 받은 일  $W_1$ 과 유체계가 단면  $A_2$ 에 작용하는 압력  $p_2$ 로 한 일  $W_2$ 의 크기를 비교하고, 그 이유를 써주세요.

- 크기 비교:  $W_1$  ( )  $W_2$

- 이유:

- (3) 단면  $A_1$ 에 작용하는 압력  $p_1$ 과 단면  $A_2$ 에 작용하는 압력  $p_2$ 의 크기를 비교하고, 그 이유를 써주세요.

- 크기 비교:  $p_1$  ( )  $p_2$

- 이유:



(4) 본인이 알고 있는 이상유체의 성질을 모두 쓰고, 이 문제(문제 6번)을 풀기 위해 필요한 이상유체의 성질을 모두 쓰세요.

- 이상유체의 성질:

- 문제 6번에서 적용되어야 하는 이상유체의 성질:

7. 설문 과정에서 문제의 의도를 파악하기 어려웠던 부분이나 답하기 어려웠던 점을 써주세요.

### [부록3] 연구참여자용 설명서 및 동의서

## 연구참여자용 설명서 및 동의서 (면담)

**연구 과제명 :** 계의 유형에 따른 보존법칙과 에너지에 대한 대학생들의 이해

**연구 책임자명 :** 지영래 (서울대학교, 박사과정)

이 연구는 계에 유형에 따른 보존법칙의 적용과 계의 규정에 따른 에너지와 일 등의 물리량에 대한 대학생들의 어려움은 무엇인지 탐색하고 그 원인을 분석하는 연구입니다. 귀하는 대학교에 재학 중인 학생으로서 일반물리학 수준 이상의 학습경험이 있기 때문에 이 연구에 참여하도록 권유 받았습니다. 이 연구를 수행하는 서울대학교 소속의 물리교육과 박사과정인 연구원책임자 지영래(02-880-8817)가 귀하에게 이 연구에 대해 설명해 줄 것입니다. 이 연구는 자발적으로 참여 의사를 밝히신 분에 한하여 수행 될 것이며, 귀하께서는 참여 의사를 결정하기 전에 본 연구가 왜 수행되는지 그리고 연구의 내용이 무엇과 관련 있는지 이해하는 것이 중요합니다. 다음 내용을 신중히 읽어보신 후 참여 의사를 밝혀 주시길 바라며, 필요하다면 가족이나 친구들과 의논해 보십시오. 만일 어떠한 질문이 있다면 담당 연구원이 자세하게 설명해 줄 것입니다.

### 1. 이 연구는 왜 실시합니까?

이 연구는 계에 유형에 따른 보존법칙의 적용과 계의 규정에 따른 에너지와 일 등의 물리량에 대한 대학생들의 어려움은 무엇인지 탐색하고 그 원인을 분석하는 연구입니다. 이를 통해 물리학에서 계의 중요성을 이해하기 위한 효과적인 교수방안에 대해 제안하는 데에 있습니다.

### 2. 얼마나 많은 사람이 참여합니까?

이 연구에는 사범대학 물리교육 전공 대학생 100여명이 설문에 참여할 것입니다. 설문 후 면담 참여한 동의한 20여명의 학생이 면담에 참여하게 됩니다.

### 3. 만일 연구에 참여하면 어떤 과정이 진행됩니까?

만일 귀하가 참여의사를 밝혀 주시면 다음과 같은 과정이 진행될 것입니다.

지원자는 계를 핵심용어로 한 세 영역(역학, 열역학, 유체역학)에 대한 두 세트의 설문지 중의 일부에 참여자이며, 면담에 동의한다면 향후 면담에 실시됩니다. 면담은 30분 이내의 시간이 소요되며, 참여자가 설문지에 작성한 내용에 기초하

여 연구자가 추가 질문을 할 예정입니다. 이를 통하여 물리학에서 관련 영역별로 계의 특성에 대한 적절한 이해가 필요하며, 물리학을 이해하는 데 있어 계와 관련된 어려움을 탐색하여 물리 교수학습에 대한 시사점을 찾고자 합니다.

#### **4. 연구 참여 기간은 얼마나 됩니까?**

연구 기간은 약 1년 정도입니다. 연구 참여자는 본인이 작성한 응답 내용에 대한 연구자의 추가 질문을 중심으로 한 30분 이내의 면담에 참여하게 됩니다.

#### **5. 참여 도중 그만두어도 됩니까?**

예, 귀하는 언제든지 어떠한 불이익 없이 참여 도중에 그만 둘 수 있습니다. 만일 귀하가 연구에 참여하는 것을 그만두고 싶다면 연구 책임자에게 즉시 말씀해 주십시오.

#### **6. 부작용이나 위험요소는 있습니까?**

현재 예상되는 부작용이나 위험요소는 없습니다. 하지만 본인이 부작용이나 위험요소가 있다고 판단된다면 담당 연구원에게 즉시 문의해 주십시오.

#### **7. 이 연구에 참여시 참여자에게 이득이 있습니까?**

이 연구는 귀하에게 직접적인 도움이 되지 않을 수도 있습니다. 그러나 귀하가 제공하는 정보는 물리학 학습과 관련하여 고등 물리교육 및 대학 일반물리교육에 시사점을 제공하는 데에 도움이 될 것입니다.

#### **8. 만일 이 연구에 참여하지 않는다면 불이익이 있습니까?**

귀하는 본 연구에 참여하지 않을 자유가 있습니다. 또한, 귀하가 본 연구에 참여하지 않아도 귀하에게는 어떠한 불이익도 없습니다.

#### **9. 연구에서 얻은 모든 개인 정보의 비밀은 보장됩니까?**

개인정보관리책임자는 서울대학교의 지영래(02-880-8817)입니다. 저희는 이 연구를 통해 얻은 모든 개인 정보의 비밀 보장을 위해 최선을 다할 것입니다. 이 연구에서 얻어진 개인 정보가 학회지나 학회에 공개 될 때 귀하의 이름과 다른 개인 정보는 사용되지 않을 것입니다. 그러나 만일 법이 요구하면 귀하의 개인 정보는 제공될 수도 있습니다. 또한 모니터 요원, 점검 요원, 생명윤리심의위원회는 연구참여자의 개인 정보에 대한 비밀 보장을 침해하지 않고 관련규정이 정하는 범위 안에서 본 연구의 실시 절차와 자료의 신뢰성을 검증하기 위해 연구 결

과를 직접 열람할 수 있습니다. 귀하가 본 동의서에 서명하는 것은, 이러한 사항에 대하여 사전에 알고 있었으며 이를 허용한다는 동의로 간주될 것입니다.

**10. 이 연구에 참가하면 댓가가 지급됩니까?**

죄송합니다만 본 연구에 참가하는데 있어서 연구 참여자에게 어떠한 금전적 보상도 없습니다.

**11. 연구에 대한 문의는 어떻게 해야 됩니까?**

본 연구에 대해 질문이 있거나 연구 중간에 문제가 생길 시 다음 연구 담당자에게 연락하십시오.

이름: 지영래                      전화번호:

만일 어느 때라도 연구 참여자로서 귀하의 권리에 대한 질문이 있다면 다음의 서울대학교 생명윤리심의위원회에 연락하십시오.

서울대학교 생명윤리심의위원회 (SNUIRB)                      전화번호:

## 동 의 서

1. 나는 이 설명서를 읽었으며 담당 연구원과 이에 대하여 의논하였습니다.
2. 나는 위험과 이득에 관하여 들었으며 나의 질문에 만족할 만한 답변을 얻었습니다.
3. 나는 이 연구에 참여하는 것에 대하여 자발적으로 동의합니다.
4. 나는 이 연구에서 얻어진 나에 대한 정보를 현행 법률과 생명윤리심의위원회 규정이 허용하는 범위 내에서 연구자가 수집하고 처리하는데 동의합니다.
5. 나는 담당 연구자나 위임 받은 대리인이 연구를 진행하거나 결과 관리를 하는 경우와 보건 당국, 학교 당국 및 서울대학교 생명윤리심의위원회가 실태 조사를 하는 경우에는 비밀로 유지되는 나의 개인 신상 정보를 직접적으로 열람하는 것에 동의합니다.
6. 나는 언제라도 이 연구의 참여를 철회할 수 있고 이러한 결정이 나에게 어떠한 해도 되지 않을 것이라는 것을 압니다.
7. 나의 서명은 이 동의서의 사본을 받았다는 것을 뜻하며 연구 참여가 끝날 때까지 사본을 보관하겠습니다.

연구참여자 성명	서 명	날짜 (년/월/일)
동의서 받은 연구원 성명	서 명	날짜 (년/월/일)
연구책임자 성명	서 명	날짜 (년/월/일)

#### [부록4: 본 연구] 심층면담 전사본(일부): 시스템에 대한 인식

##### <면담자 1>

- I: 내가 생각하는 시스템은?
- S1 어떤 물체에 대해서 내가 보고자 하는 것, 공간
- I: 그러면 어떤 것을 시스템을 대상으로 하는가요?
- S1 내가 보고자 하는 물체가 존재하는 공간
- I: 과학이나 물리학에서 시스템이라는 것은 어떤 역할 또는 중요성은?
- S1 여러 시스템이 있으면 너무 복잡하니까 최대한 간단하게 보고 간소화 하는 과정
- I: 간소화하는 과정은 무엇인가요? 복잡한 걸 간소화한다는 것은?
- S1 아아아...예를 들어서, 아 막 물체가 막 여러개 움직여요. 하나가 움직이는 것을 알고 있는데 여러 개를 이해하기 힘들니까 한 물체에 대한 관계를 통해 알아본다.
- I: 복잡한 걸 간소화한다는 생각이 수에 관련된 건가요?
- S1 수에 관한 걸 수도 있고, 예를 들어 선운동량과 각운동량은 관계가 없는 것일 수도 있으니까, 선운동량 먼저 보고 각운동량을 나중에 보는 것
- I: 그렇다면 서로 독립적인 물리량을 해석해서 물체를 이해하는 것이라는 거지요?
- S1 네
- I: 일반적인 과학으로 확장하면 시스템의 중요성은 같은가요? 물리학이 아닌 것 중에서도 이런 예들이 있나요?
- S1 생물학 같은 곳에서도 하나의 현상이 역학적 또는 전기적인 원인이 될 수도 있으니까 그런 것들을 독립적인 것으로 각각 보고 추론하는 것
- I: 한 가지 요소를 본 후에 이것을 합하면 전체를 이해하는 데 오류가 발생하지는 않을까?
- S1 뭐 그럴 수 있겠죠. 전기나 역학이나 독립적인 것은 아니니까 어느 정도 관련이 되는데 시스템 간의 관련에 의해서도 알면은 정확해 질 것 같아요.
- I: 여기서 말하는 시스템 간의 관련이라면?
- S1 선형운동량이나 각운동량이 에너지에 대해서는 관련이 있는 것
- I: 그렇다면 여기서 선형운동량 각운동량은 시스템이라고 생각하는 것인가요?
- S1 네.
- I: 아까 시스템이 어떤 물체에 대해서 내가 보고자 하는 공간이라고 했는데
- S1 내가 보고자 하는 게 내가 무엇을 볼 건지에 대해 정하고 그것에 대해 해석하는 것 같아요. 선형운동량을 본다면 그것에 대한 것만 보고 각운동량을 본다면 그것만 보는 것
- I: 해석과 공간이 다른 것 같은데?
- S1 해석이 좀 더 가까운 것 같다. 그 공간에 대한 해석 정도로 하면 될 것 같다.

- I: 중고등학교에서 학습에서 시스템이 사용되었나요?
- S1 시스템이라는 말은 쓰지 않은 것 같아요
- I: 계라는 말은요?
- S1 고등학교 때 쓰긴 했는데 잘 들어보진 않았던 것 같아요  
열역학 법칙을 할 때 계라는 말을 들어봤던 것 같아요
- I: 다른 과목에서는 사용되었나요?
- S1 생태계요.
- I: 화학은 또는 지구과학에서는요?
- S1 지구과학은 안 배워서 모르겠어요.
- I: 중학교 때는?
- S1 중학교 때는 잘 기억이 나지 않아요.
- I: 본인이 생각하는 시스템과 생태계에서 사용하는 시스템은 같은가요? 다른가요?
- S1 조금 비슷한 것 같은데 ,완전히 같지는 않아요.
- I: 물체가 생물이 되서, 생물에 대한 해석이긴 한데, 공간에 대해서는 딱히 다루지 않은 것 같다. 그런데 따지고 보면 지구에서의 생물에 대해 다뤘기 때문에 이미 공간은 제한적인 것 같으나 완전히 같지는 않은 것 같아요
- S1 비슷한 부분도 있는 것 같다.
- I: 열역학 법칙에서는 어디에서 계가 쓰였어요? 단어에서 쓰였을려나?
- S1 계의 열 출입이 없을 때? 이런 말 썼던 것 같아요
- I: 혹시 이렇게 물리 전공이니까. 물리에 대해서 더 많이 알 테니까. 계라는 것과 직접적으로 관련되면서 쓰였던 것 있었던 것 같아요?
- S1 열에서 많이 쓰였던 것 같아요. 단열이라던지 고립계에서 사용되었던 것 같다.
- I: 계라는 것을 잘 이해하고 있어야... 계를 잘 이해해야 힘을 잘 이해할 수 있었다는 것이 있었나?
- S1 잘 잡아야 하는 것 같아요. 어느 공간에서 있었냐는 것에 대해 잘 잡아야 해석이 되니까
- I: 못 잡으면 어떤 해석의 어려움?
- S1 계를 잘못 잡으면... 예를 들어, 상자 안에 피스톤 하나 박아 놓고 여기 저기 다른 계를 잡아 놓고 하면 해석이 되는 것을 하나의 계로 보면 해석이 어려운?
- I: 하나의 계로 보면 풀리지는 않는 것은 아닌데?

<면담자 2>

- I: 본인이 생각하는 시스템의 정의는?
- S2: 역학에서 명시적으로 드러나는 것 같지만 전자기학이나 어디서든 다 쓸 수 있는 것
- I: 역학에서 들었을 때 시스템은 주로 어떤 개념과 관련해서 사용되었는가?
- S2: 파티클의 상호작용과 보존에서 사용됐던 것 같다.
- I: 파티클의 상호작용과 관련해서 시스템을 설명할 수 있겠어요?
- S2: 다시 생각해 보니까 파티클의 상호작용에서 시스템을 쓴다기보다, 시스템을 정의할 때 파티클의 상호작용을 기준으로 정의할 수 있을 것 같다.
- I: 시스템은 어떤 것?
- S2: 물리량이 변하는 상황에서... 시스템을 사용할 때 가장 쉬운... 가장 간단하게 말하면 물체를 밀 때 책에서는 교과서 같은 데에서 나무토막을 밀 때 하나로 보지만 엄청나게 많은 입자들을 미는 것. 힘을 가하는 지점 근처의 입자들을 미는 것이고 그것들이 상호작용을 해서 하나로 움직이는 것
- I: 시스템이라는 것이 우리가 흔히 말하는 나무토막이 수많은 입자들로 이뤄진 시스템이다.
- S2: 큰 느낌은 사람이 잡는대로 하나의 시스템이 되는
- I: 잡는다는 것이 뭐죠?
- S2: 중고등학교 때를 생각해 보면 문제를 해결하기 용이한 대로 시스템을 잡는 것. 주로 보존 상황. 입자 하나의 보존을 볼 수 있는데, 입자 여러 개가 모여서 보여지는 것이 다름. 질량중심이라든지 시스템내에서의 보존을 얘기 할 수 있고. 입자 여러 개가 모여서 보여지는 물리적 성질이나, 시스템의 안과 밖을 구분지으려고 시스템을 이야기 한 것 같아요.
- I: 시스템을 많이 생각해 봤어요?
- S2: 생각은 해봤는데 말로 설명한 적은 없었던 것 같아요
- S2: 고등학교 때도 보존 같은 것 문제를 풀면은, 막연히 이 문제에서는 이렇게. 아무 말도 없이 운동량 보존 써라 역학적에너지 보존 써라 라고 하잖아요. 그래서 저도 어려움을 느끼고 그랬었는데, 그 때는 계라는 말을 명시적으로 쓰지는 않았지만 경험적으로 이렇게 하나로 보자. 그런 느낌이 있었거든요. 그러면 이 내에서 운동에너지하고 밖과의 힘. 특히 역학적에너지 보존 상황에서는 외부에서의 일. 외부에게 일을 하는가? 운동에너지 상황에서는 힘을 가하는가 아닌가? 뭔가 문제를 해결하기 위해서 하나로 본다 하는 느낌을.... 공부하면서 이렇게 하면 막연하게 했던 문제 해결 과정이... 뭔가 규칙적 해결 방안이 있다는 느낌을 받았거든요. 나중에 대학교 와서도 멘토링을 하면서 설명을 좀 더 깔끔하게 하긴 했지만 시스템을 정의한 것은 상당히 해 본 적도 없고 막연하게 해서 한 마디로 설명하지는 못했던 것 같아요.



- I: 역학적에너지 보존. 질량중심과 관련해서 계라는 것이 중요하다고 말했는데, 혹시 역학적에너지 보존이 되려면 어떤 계의 조건이어야 할까요?
- S2: 보존력만 일을 하는 계. 계를 잡았을 때 계를 잡았다는 것은 외부와 내부를 구별한다는 거잖아요? 시스템을 이렇게 잡아라고 정해진 것은 아니지만. 내가 이 문제를 해결하기 위해서는 내가 이렇게 계를 잡겠다. 그러면 외부와 내부를 구별하게 되는 건데. 외부에서나 내부에서나 보존력만 출입하는... 그 보존력만 일을 하는
- I: 보존력만 일을 한다는 것을 좀 더 풀어서 설명할 수 있을까요?
- S2: 역학적에너지가 보존이 되려면, 원래는 어쨌든 운동에너지는 늘어나잖아요. 역학적에너지를 정의하는게 보존력에 대해서 정의를 하게 되니까 어떤 시스템을 잡건 간에 운동에너지는 변하게 되지만 만약에 보존력이 일을 한다면 퍼텐셜에너지를 정의를 해서, 그림으로 나타나면 외부와의 출입이 이렇게 있으면 운동에너지가 변하는데, 이걸 모든 일이 되지만 만약에 보존력이 일을 하는 계가 있으면 구분해서 보존력이 일을 하는 계와 보존력이 아닌 일을 구분하게 되면, 보존력이 한 일의 양을 위치에너지의 변화로서 정의해 가지고 그러면 보존력만 일을 할 때는 애와 애는 각각 변하지만 합은 안변하게 정의할 수 있잖아요. 그러면 이것을 역학적에너지라 정의하자. 보존력만 작용하면 중력, 전기력 뭐 탄성력 등등만 정의하는 시스템에서 에너지의 출입을 관여한다고 하면 그냥 이걸로도 해결할 수 있지만 역학적에너지 위치에너지를 정의해서 두 개의 합인 역학적에너지가 보존된다고 하면 문제상황이 쉽게 해결된다.
- I: 보존력과 관련해서 위치에너지를 강조했던 것 같은데 어떤 측면에서 보존력과 위치 에너지가 관련되나?
- S2: 퍼텐셜에너지 자체가 보존력이 일을 할 때의 변화량이다. 포텐셜에너지 자체가 보존력에 관계되는 것
- I: 본인이 생각하는 보존력은 무엇인가요?
- S2: 경로에 무관한 일. 사람이 하는 일이나 마찰력도 포텐셜에너지를 역지로 정의할 수 있지만, 중력이나 전기력이나 이런 것들은 일을 계산해볼 때 뭐 폐경로로 일을 했을 때 0이 되는, 중간 과정을 생각할 수 없게 되는 역학에서 일을 풀게 되면 시간에 대해서 계속 생각해야 하는데, 처음과 나중으로만 생각할 수 있게 되니까 경로에 무관하게 일을 하면. 일반물리까지는 위치에만 관계된 보존력만. 나중에 전자기학을 배우다 보니까 시간에도 포텐셜이 관계되어 있다고 하니까 거기까지는 아직 잘 모르겠어요. 중고등학교에는 위치에만 관계된 힘들이 많으니까요.

#### <면담자 4>

- I: 시스템의 정의는?
- S4: 자연에 있어서, 자연을 이루는 여러 가지 요소들. 시공간을 포함해서 시공간 안에 있는 객체들이 있는데, 계는 시공간 안에 있는 객체들의 다수를 어느 특정할 수 있게 규정해 놓은 것들. 예를 들어 컵 안에 있는 물 분자들의 집합. 여러 가지 자연의 요소들을 어떻게 놓느냐에 따라 다양하게 규정될 수 있다.
- I: 자연의 요소들을 특정지어 놓은 집합이라고 했는데, 집합을 규정한 이유는? 왜 우리는 시스템이라 지칭하는가?
- S4: 제 생각에는 역사적으로 볼 때 처음에 물리학이나 화학이 자연이 어떻게 돌아가는지 탐구하다가 자연을 탐구하다가 단순히 위주로 탐구하다가, 단순한 것을 어느 정도 해결했는데 복잡한 자연계에 도입하려면 하나 하나의 단순계를 적용하기 어렵기 때문에 계라는 것을 도입한 것 아닌가?
- I: 전체적인 것을 보는 것에 계라는 규정이 중요한 것인가요?
- S4: 복잡계를 손쉽게 다루기 위해서
- I: 전체적으로 본다는 것은 전체의 무엇을 본다는 것?
- S4: 전체적으로 보던 하나를 보던 동일한 것 같다. 그것으로부터 관찰되는 현상들, 그것을 토대로 도출되는 공식, 이론, 법칙을 얻기 위해
- I: 단일한 것은 계라고 생각하는 집단이라는 것이 계에 가까운 것이고 하나의 존재하는 단일한 개체는 계는 아닌가?
- S4: 원소하나로하는것도계이기는한데,굳이원소하나를계라고하는것으로규정해서연구할필요는없는것같다.
- I: 시스템 또는 계는 과학에서의 중요성은 무엇인가? 또는 물리학에서 왜 중요하냐?
- S4: 계속 물 분자 이야기를 드는데, 물 분자 하나를 봤을 때는 우리가 아는 물의 특성이 드러나지 않잖아요? 증발이라던가 표면장력이라던가 이런 여러 가지 특성이 드러나지 않고, 다른 물질처럼 행동하는데, 물 분자들이 여러 개가 모여서 상호작용을 하는 거를 일일이 파악하면 정확하고 좋겠지만 뭐 불확정성 원리나 여러 장애물이나 도구의 한계라던가 그래서 시스템이나 계처럼 큰 수의 모임들을 한꺼번에 예측할 수 있는 그런 틀로서의 계나 시스템이 있으면 아까 있었던 여러 개의 상호작용을 다 규정해야 알 수 있는 단체들의 움직임을 우리 능력 내에서 해결할 수 있게 해 주는 중요한 틀로서 중요하다
- I: 복잡계나 다입자계의 경우 우리가 계의 특성을 본다면 분석한다는 것은 개개의 상호작용에 대한 이해가 좀 덜 있어도 된다는 건가요?
- S4: 상호작용이 얼마나 있던지는 상관할 요소는 아닌 것 같아요. 그거는 딱히 연관이 있는게 아니고 단지 물 분자가 1몰개 정도가 있으면은 서로간의 상호작용을 고려하면 너무 많은 숫자잖아요. 그게 숫자가 많은 적든 간에 단체로서 행동하기만 하면은 시스템이나 계나 어느 정도 중요성을 가질 것 같은데

- I: 질문을 다시 한 번 할게요. 예를들어서 우리가 운동량 보존법칙을 설명한다고 했을 때, 한 물체와 한 물체 간의 일어나는 상호작용을 보잖아요. 충돌이나 이런 것들. 그런데 다입자계 같은 경우도 충돌이 일어나면서 운동량이 보존되기도 하고 한 운동량이 충돌량이 전달되기도 하는데, 전체를 본다는 것은 각각의 상호작용을 조금 덜 관심을 가져도 해석이 가능한 거라도 얘기한 거였나는 거였어요.
- S4: 계를 연구할 때랑 복수의 계를 연구할 때를 보면, 계 하나만 연구할 때는 상호작용으로부터 도출하는 방법이 있을 것 같아요. 흔히 하는 박스 안에서 완전탄성충돌 기체분자 하나가 있고 박스 안의 상호작용을 알아보는 방법도 있고, 아예 보일이나 샤를의 법칙처럼 용기 안에 담아 놓고 가열해 본단던가 계 전체적으로 특성을 변화시키는 방법
- I: 미시적인 운동에 관심 있는냐 거시적인 운동에 관심 있는냐고 본인이 생각하는 계는 둘 다 계에 대한 연구인데 어디서 출발하는가의 차이라는 거지요?
- S4: 네
- I: 그리고 그 중에서 후자를 더 강조한 것은 아니라는 거지요?
- S4: 네
- I: 둘 다 과학에서 필요하다
- S4: 네
- 계를 하나의 시스템만 연구할 때는 그 계 내부에서 어떻게 상호작용이 일어나나에 대한 큰 두가지 출발점일 거고, 계가 여러 개가 있다면 하나의 계의 내부에서의 일은 좀 더 중요성이 떨어지지 않을까 생각되요. 즉, 계끼리의 상호작용이 좀 더 중요한 테마로 떠오를 것 같아요.
- I: 과학을 배울 때 또는 물리학을 배울 때 시스템을 잘 배워야 하는 이유는 뭐라고 생각해요?
- S4: 여러가지 측면을 생각할 수 있겠는데, 그 중에 하나는 개념인 것 같아요. 자연 현상은 그 자체로 있는데, 우리가 자연 현상을 설명하기 위해서 여러가지 개념들을 도입하잖아요? 각자 그 사람들이 갖고 있는 개념이 분명히 똑같은 걸 생각하고 있지만 얘기하다 보면 다르다. 예를 들어 노란색을 초록색과 빨간색을 섞인 것으로 하는 사람이 있고, 어떤 사람은 노란색은 단일파장이지와 같이 사람마다 갖고 있는 개념이 다른데, 그 계에 대해서도 사람들마다 생각이 다를 것 같아요. 온도, 전자기 등에 대한 여러 개념들이 다른데, 이런 계라는게 개념들을 명확히 해 줄 수 있을 것 같아요. 그래서 사람들이 서로 간에 말이 통하려면 서로 생각하는 게 똑같아야 하니까 계라는 것이 열통계에서 중요한 것 같아요.
- I: 계가 개념들을 명확히 해 주는 데 중요하다고 했는데, 예를 들어 어떤 개념이 그런 역할을 하나요?
- S4: 계 하나만으로는 부족하고, 계, 상호작용, 에너지 이렇게 했을 때. 예를 들면은 말 그대로 열 같은 거는 어떤 사람은 물체의 뜨거운 정도지. 어떤 사람은 에너지를 주고 받은 거를 열이라고 하지. 그럼 열을 자체로 생각하는 사람도 있고 에너지의 이동이라고 생각하는 사람도 있는데, 어. 그런 거를 명확하게 규정할 때 무엇을 계라고 할 것인가? 입자들 간의 모임? 아니면 상호작용은 입자들인 무언가를 주고 받은 것을 상호작용이라고 하는가. 에너지는 또 그 입자들이 갖는 운동량의 총합이라던가 뭐라든가 할 때, 계라는 것이 빠지는 것을 본 적이 없어요. 사실 열통계에서 많이 다뤘기 때문에 다른 데에서는 어떻게 정의될 수 있는지에 대해서는 생각해 봐야 할 것 같긴 한데, 입자들을 다룬 이상 보니까 중학교 교과서에서 열과 관련된 게 나와요. 온도, 열평형 이 나오는데 오개념을 갖고 있으면 큰일 나잖아요. 교사들에게도 명확하게 계라는 개념을 갖고 설명할 필요가 있겠죠

## Abstract

# Physics Preservice Teachers' Perception of the Concept of System and their System-based Understanding of the Problem Solving in Conservation Law

Youngrae Ji

Physics Education Major

Department of Science Education

The Graduate School

Seoul National University

System used for research design and analysis of data in science activity. It could be connected with various concepts in science. The concept of system is closely connected with primary science concept: energy, matters, structure, functions, constancy, changes. And it contribute to a students' thinking development.

Bruner explained that the structure of knowledge is the form of disentangled elements of objects. It is important for teaching and learning to know the structure of discipline. Teachers should figure out the structure of subject and organize the content of that subject. The structure of subject could compose of key content which deliver the wholeness of subject to learners.

This study suggest a system as a key concept for organization of the structure of subject. The concept of system could promote the understanding of physics concepts and application of problem solving. This study suggest an implication about the selection and perception of the target, understanding and application of interaction, analysis of the target system. So this study collected the perception of system from preservice teacher and examined the process of problem solving. In order to identify the concept of system in science and science education, researcher investigated the advanced research about the concept of system, physics concepts, conservation law, and problem solving. Through the prior research, this study suggest the condition of system-based understanding on physics context. First, 'a grasp the background context' is to figure out the characteristic of components on proposed situation and constraints of that components. Second, 'a clarification of the boundary' is to select the components properly for applied law or principle. Third, 'an evaluation of interaction' is to extract valid interaction and to apprehend the effect on the system. Fourth, 'an estimation of the state of system' is to estimate the state of system and system's components.

The purpose of preliminary research is to explore the evidence of two conditions among the condition of system-based understanding. Two conditions were 'a grasp the background context' and 'an evaluation of interaction'. Data were collected from first week of September 2012

to second week of September 2012. The subjects of this study were undergraduate students who were majored in physics education in Seoul, Korea. Questionnaires were composed of problem solving in terms of buoyancy. Preservice teachers were asked to the final location of the object in the liquid. They answered and explained the object's final location of different density (problem 1) and of diverse variable factors (problem 2, 3). The results of this preliminary research show that preservice teachers had difficulties with the constraints of the system's components and effective interactions toward the system.

However, the preliminary study investigated the parts of the whole conditions of a system-based understanding. And previous research did not identify the perception of the system and selection of the system. So main research examined in the whole parts of the conditions of a system-based understanding.

A main research was composed with the analysis of the questionnaire and interview. Data were collected 4 times from fourth week of November 2014 to first week of December 2014. The subjects of this study were undergraduate students who were majored in physics education in Seoul, Korea. The participants had learned at least an introductory physics course. And interviews were conducted 6 times from July 2015 to August 2015.

First part of main research was related with the preservice teachers' perceptions in terms of the system. Preservice teachers asked to explain the system. The results of the analysis show that they explained the concept of system by using some keywords. There were space (31.1%), matter and energy (24.4%), observation (13.3%), and interaction (8.9%). It was different with previous researches' definition of system.

The results of interviews were focused on the conditions of system-based understanding. There were 'a grasp the background context', 'a clarification of the boundary', 'an evaluation of interaction', and 'an estimation of the state of system'. Preservice teachers explained that the components of the system as 'interpretation about the space', 'the group of particles', 'the district was differently applied specific law', 'the boundary was available for transmission of matter and energy', etc. And they explained the reason why they should define the boundary of system as 'an appropriate boundary should select for applying the law or principle', 'a physics quantity should divide by the boundary of system', 'for explanation of center of mass or the concept of conservation'. In the related with an evaluation of interaction, it is need to know physics quantity and interaction by classification of system and environment. Preservice teachers explained that the estimation of the system as 'to apply their interpretation', 'to connect with the purpose and the selection of system', 'to add or extract factors for a new way of thinking'.

Second part of main research was analyzed the preservice teachers' process of problem solving on conservation law. The results of this analysis were focused on the concept of the system. The problems of questionnaires were about the conservation law of isolated and non-isolated system. In the case of isolated system were related with momentum conservation and mechanical energy conservation. And in the case of non-isolated system were related with the first law of the thermodynamics and Bernoulli's law. Preservice teachers were asked to solve the problem about each system's conservation law. The results of the analysis were focused on conditions of a system-based understanding.

First, preservice teachers had difficulties to understand the constraints

of the components and to extract the effect factors on the system. Second, preservice teachers confused with the selection of system and the system's boundary setting. Third, preservice teachers had difficulties in understanding of interaction between system and environment. And they could not extract effective interactions on the system. Fourth, preservice teachers' lacks of understanding caused them to misinterpret the system.

In conclusion, the preservice teachers appreciated the system on their own terms although they explained in the various aspects. Moreover, their perception of physics system was closely connected with their perception of physics. The preservice teacher, however, could not well organize the conditions related with the concept of system in the physics contexts. So, this study suggests the conditions of system-based understanding through their perception of the system and the process of problem solving. This system-based understanding could provide learners and teachers with a clear understanding of physics concept and a well-defined interpretation of physics contexts.

**keywords : system, system-based understanding, conservation laws, problem solving, preservice teacher**

***Student Number : 2012-31068***





## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학박사학위논문

예비물리교사의 시스템 개념에 대한  
인식과 보존법칙 문제풀이의  
시스템 기반 이해

Physics Preservice Teachers' Perception of the  
Concept of System and their System-based  
Understanding of the Problem Solving in  
Conservation Law

2016년 2월

서울대학교 대학원  
과학교육과 물리전공  
지 영 래

예비물리교사의 시스템 개념에 대한  
인식과 보존법칙 문제풀이의  
시스템 기반 이해

Physics Preservice Teachers' Perception of the  
Concept of System and their System-based  
Understanding of the Problem Solving in  
Conservation Law

지도교수 송 진 응

이 논문을 교육학박사 학위논문으로 제출함  
2015년 10월

서울대학교 대학원  
과학교육과 물리전공  
지 영 래

지영래의 박사학위논문을 인준함  
2016년 1월

위 원 장 이 경 호 (인)

부위원장 이 봉 우 (인)

위 원 조 광 희 (인)

위 원 채 승 철 (인)

위 원 송 진 응 (인)

## 국문초록

과학자들은 연구의 편의성을 위해 연구 목적에 맞는 시스템을 선택하고 이상적인 시스템을 가정하며 연구를 설계하고 결과를 해석한다. 또한 시스템은 에너지, 물질, 구조, 기능, 안정성, 변화 등과 긴밀히 연관되어 물리학의 경계를 넘어 여러 과학 교과와 과학 개념들 사이의 연결고리 역할을 한다.

브루너는 교과 학습에서 지식의 구조를 파악해야 한다고 주장했다. 교과를 가르치는 교사는 해당 교과의 구조를 파악하고 이를 중심으로 내용 지식을 조직화해야 한다. 교과의 구조는 교과의 골격을 이루는 개념을 중심으로 구성될 수 있다.

이에 이 연구에서는 교과의 골격을 이루는 개념으로서 시스템을 제안하고 시스템이 물리 문제풀이의 각 과정에서 중심적인 역할을 함을 제안하고자 한다. 이 연구는 시스템에 대한 예비교사들의 이해와 이들의 물리학 보존법칙 문제풀이 과정을 살펴보고, 시스템에 기반한 이해의 과학 교육적 시사점을 얻고자 한다.

이를 위해 연구자는 시스템 개념 관련된 과학교육 문헌들을 분석하였다. 그리고 선행 연구 분석을 토대로 ‘물리적 상황을 시스템적으로 이해하기’ 위한 네 가지 단계를 제안하였다. 첫 번째 단계는 제시된 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 이해하는 것으로 ‘배경 상황의 파악 단계’이다. 두 번째 단계는 고려하고 있는 법칙과 원리가 적용되는 구성요소를 선택하는 것으로 ‘경계의 명료화 단계’이다. 세 번째 단계는 외부와의 유효한 상호작용을 선별하고 그 효과를 파악하는 것으로 ‘상호작

용의 평가 단계’이다. 네 번째 단계는 시스템과 그 구성요소의 물리적 상태를 추정하는 것으로 ‘시스템 상태의 추정 단계’이다.

예비연구는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건들의 일부인 ‘배경 상황의 파악 단계’와 ‘상호작용의 평가 단계’에 대한 탐색을 목적으로 수행되었다. 예비연구의 자료 수집은 서울 소재 사범대학에 재학 중인 물리교육 전공자 40명을 대상으로 2012년 9월 첫째 주와 둘째 주에 걸쳐 실시하였다. 연구 참여자들은 학부 과정 2-4학년 예비교사들로 구성되었으며 모두 일반물리학 이상의 강좌를 수강한 경험이 있었다. 문항의 수준은 2009 개정 교육과정의 물리 I·II 수준을 넘지 않으며, 일반물리학 수준의 부력을 학습한 참여자들이 응답할 수 있는 수준으로 구성되었다. 문제 1은 동일한 액체에 잠긴 서로 다른 밀도가 갖는 물체들의 최종 위치를 묻는 문항이다. 문제 2와 3은 부력, 중력, 저항력을 적용하여 물체가 최종 위치에 이르는 과정에 대한 이해를 묻는 문항이다. 예비연구의 분석을 토대로, 문제에서 제시된 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위해서는 제시된 구성요소들의 물리적 특성과 제한 조건을 파악해야 함을 알 수 있었다. 이 물리적 상황과 제한 조건은 상호작용을 결정하는 데 영향을 주었다. 그리고 시스템 내부의 물체의 최종상태를 추정하기 위해서는 시스템에 유효한 상호작용을 추출할 수 있어야 함을 알 수 있었다.

그러나 예비연구에서는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하는 것의 전체 단계를 살펴보지 않았으며, 또한 시스템과 시스템의 경계 규정에 대한 예비교사들의 생각이 명시적으로 드러나지 못하는 어려움이 있었다. 따라서 이어지는 본 연구에서는 주제를 보존법칙 상황으로 제한하고, 시스템적으로 이해하기 위한 조건을 구체적으로 살펴보도록 연구 계획을 수립하였다.

본 연구는 설문과 심층면담으로 구성되었다. 설문 참여자들은 서울 소재 사범대학에서 물리교육을 전공하는 예비교사 63명이었다. 설문은 2014년 11월 말에서 12월 초까지 총 4회에 걸쳐 실시하였으며, 참여자들은 모두 일반물리학 수준 이상의 물리학 강좌를 수강한 경험이 있었다. 또한 2015년 7월에서 8월까지 6명의 물리교육 전공 예비교사를 대상으로 1시간 이상의 심층면담을 수행하였다.

연구의 첫 단계에서는 시스템에 대한 예비교사들의 이해 조사 단계로 설문과 심층면담을 수행되었다. 시스템에 대한 예비교사의 설명을 핵심어를 중심으로 분석한 결과, 공간(31.1%), 물질(24.4%), 관찰(13.3%), 상호작용(8.9%)을 사용하여 설명했다. 이는 부분들, 집합, 상호작용, 기능 등을 지적하였던 선행연구들의 결과와 차이가 있었다. 한편, 설문에 참여한 예비교사의 20%는 시스템을 설명하지 못하였다.

심층면담에서는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건인 ‘배경 상황의 파악’, ‘경계의 명료화’, ‘상호작용의 평가’, ‘시스템 상태 추정’을 중심으로 분석이 이루어졌다. 예비교사들은 시스템의 구성요소로 ‘공간에 대한 해석’, ‘여러 입자들의 모임’, ‘확연히 달라지는 구역’, ‘자연을 이루는 여러 가지 요소들의 집합’, ‘물질과 에너지가 교환되는 경계’, ‘공통된 관점으로 인지하고자 하는 것들의 묶음’ 등으로 다양하게 이해하고 있었다. 시스템의 경계의 명료화에 대해서는 ‘현상에 대한 해석이라는 목적에 적합한 시스템의 경계 잡기’, ‘상호작용하는 물리량의 구분을 위해서’, ‘질량 중심 또는 보존의 개념을 설명하기 위한’ 측면에서 강조하였다. 또한 시스템에서의 상호작용의 평가에서는 ‘시스템의 경계 짓기에 따른 물리량 이해’, ‘개념을 명확히 하기 위한 시스템을 경계로 한 상호작용 이해’가 추출되었다. 마지막으로 시스템 상태의 추정에서는 ‘타인의 해석이 담긴 시스템에 자신의 해석을 적용하기’, ‘현상을 설명하고자 하

는 목적에 따라 다양한 시스템을 스스로 결정’, ‘패러다임의 변화 및 새로운 사고를 위한 시스템의 구성요소 추가 및 제외’, ‘문제풀이에 필요한 요인을 선택하는 기준으로서의 기능’으로 설명하였다.

본 연구의 두 번째 단계에서는 보존법칙 관련 문제풀이에 대한 예비교사들의 이해를 시스템 개념을 중심으로 살펴보았다. 고립계에 적용되는 보존법칙으로 운동량 보존법칙, 역학적에너지 보존법칙, 비고립계에서 적용되는 보존법칙의 예로 열역학 제 1법칙, 베르누이 법칙에 대한 문항들이 주어지고, 각 문항에 대한 예비교사들의 응답을 ‘배경 상황의 파악’, ‘경계의 명료화’, ‘상호작용의 평가’, ‘시스템 상태 추정’의 측면에서 분석하였다. 이에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

첫째, 배경 상황의 이해에서 예비교사들은 대상에 대한 물리적 제한 조건을 이해하고 물리적 상황을 이해하기 위해 필요한 요인을 추출하는 것에 어려움이 나타났다. 둘째, 경계의 명료화에서 예비교사들은 시스템과 주위를 대상 물체와 상호작용하는 물체들을 중심으로 구분했다. 그러나 적용해야 하는 법칙을 고려하여 시스템과 주위의 경계를 구분하는 것에서는 어려움이 나타났다. 셋째, 상호작용의 평가에서 예비교사들은 시스템과 유효한 상호작용을 추출하는 것에 어려움이 있었다. 이는 그들이 시스템과 주위의 상호작용인 힘, 에너지, 일, 열 등을 파악하기는 했지만 시스템의 상태와 관련성에 대해서는 이해가 부족했기 때문이다. 마지막으로 시스템의 상태 추정에서는 앞의 세 단계에 대한 이해의 부족으로 시스템 또는 시스템의 구성요소의 정확한 물리적 상태를 예측하는 데 어려움이 나타났다.

종합하면, 예비교사들은 시스템을 다양한 측면에서 서술하거나 시스템에 대해 명확하게 대답하지 못하였지만, 물리학의 대상이 되는 물체

및 현상과 그것을 다루는 방법에 대해서 그들 자신의 생각을 확립하고 있었다. 그러나 시스템에 대한 인식이 다르더라도 물리적 상황을 이해하기 위해서는 구체적인 논리적 단계를 통한 접근이 필요하다. 이 연구는 물리적 상황을 시스템적으로 인식하고 시스템을 중심으로 조직화하여 물리적 상태를 해석하는 일련의 과정을 제안한다. 또한 시스템은 물리학의 주요 개념들과 밀접히 관련되어 개념들에 대한 명확한 이해를 보조한다. 이는 주요 개념들에서 파생된 여러 하위 개념들의 이해와도 관련된다는 점에서 물리학을 구조화하는 개념으로서도 교육적 시사점을 제공한다.

주요어 : 시스템, 시스템적 이해, 보존법칙, 문제풀이, 예비물리교사  
학 번 : 2012-31068



# 목 차

1. 서 론 .....	1
1.1. 연구의 동기와 목적 .....	1
1.2. 연구 문제 .....	3
1.3. 연구과정의 개요 .....	4
1.4. 용어의 정의 .....	8
1.5. 연구의 한계 .....	9
2. 선행 연구와 이론적 논의 .....	11
2.1. 지식의 구조 .....	11
2.2. 지식요소들의 관계에 대한 학습의 필요성 .....	13
2.3. 시스템 개념을 중심으로 한 지식요소의 조직화 ..	16
2.4. 물리학의 보존법칙과 시스템 개념 .....	24
3. 예비연구: 시스템에 작용하는 상호작용을 고려한 구 성요소의 상태 이해 .....	32
3.1. 연구의 필요성 및 목적 .....	32
3.2. 연구 대상 및 조사 내용 .....	35
3.3. 연구 결과 및 논의 .....	37
3.3.1. 상호작용하는 물리량에 따른 시스템의 물체의 상태 예측 .....	37
3.3.2. 시스템 내부 물체의 초기 위치에 따른 최종 위치 선택 .....	43
3.4. 결론 및 시사점 .....	48

4. 본 연구: 시스템 개념에 대한 예비교사의 인식과 문제풀이의 시스템적 이해	51
4.1. 연구의 필요성 및 목적	51
4.2. 연구 대상 및 조사 내용	54
4.3. 연구 결과 및 논의	58
4.3.1. 예비교사의 시스템 이해	58
(1) 핵심어를 중심으로 살펴본 시스템에 대한 인식	58
4.3.2. 시스템에 기반한 예비교사의 문제풀이 과정 분석	64
(1) 보존법칙의 성립조건에 대한 응답 분석	64
(2) 적용하는 법칙을 고려하지 못한 시스템의 구성요소 선택	70
(3) 외부와의 유효한 상호작용의 선별과 시스템에 미치는 영향 파악	76
(4) 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 고려하지 못한 시스템 이해	89
4.3.3. 심층면담 과정에서 나타난 시스템 이해	95
(1) 시스템에 대한 인식	95
(2) 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기	105
4.3.4. 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건	119
4.4 결론 및 시사점	121
5. 요약 및 결론	128
5.1. 요약 및 결론	128
5.2. 제언 및 후속 연구 과제	134
참고문헌	136

부록1. 예비연구 설문 도구 .....	143
부록2. 본 연구 설문 도구 .....	151
부록3. 연구 참여자용 설명서 및 동의서 .....	164
부록4. 심층면담 전사본(일부): 시스템에 대한 인식 .....	168
ABSTRACT .....	174

## 표 목 차

표 2.1 과학교육과정 관련 문서에서 제시된 공통주제들 .....	18
표 2.2 과학교육과정 관련 문서에서 제시된 공통주제의 특징 .....	19
표 2.3 과학교육과정 관련 문서에서 제시된 시스템의 특징 .....	21
표 2.4 선행연구에서 제시된 시스템 개념의 학습 목표 .....	24
표 3.1 예비연구의 문항 구성 .....	37
표 3.2 문항 1에 대한 학생들의 응답 분포 .....	39
표 3.3 문항 2와 3에 대한 학생들의 응답 수 .....	44
표 3.4 문항 2와 3에 대한 학생들의 설명 유형 .....	45
표 4.1 설문 참여 학생의 기본 정보 .....	54
표 4.2 설문지 A의 범주와 세부 문항 .....	57
표 4.3 설문지 B의 범주와 세부 문항 .....	58
표 4.4 과학에서의 시스템에 대한 예비교사들의 정의 .....	60
표 4.5 선행연구에서의 시스템의 정의 .....	61
표 4.6 시스템의 유형에 따른 예비교사들의 정의 .....	63
표 4.7 선운동량 및 각운동량 보존법칙의 전제조건에 대한 응답 수 (%) .....	66
표 4.8 역학적에너지 보존법칙의 전제조건에 대한 응답 수 (%) .....	67
표 4.9 열역학 1법칙이 적용 가능한 시스템에 대한 응답 ·	68
표 4.10 열역학 1법칙이 적용되기 위한 조건에 대한 응답	69
표 4.11 문항 (a) 풀이 과정에서 사용한 학생들의 시스템의 구성요소와 이유 .....	72
표 4.12 문항 (b) 풀이 과정에서 사용한 학생들의 시스템의	

구성요소와 이유 .....	74
표 4.13 내력과 외력의 분류 기준에 대한 학생들의 응답 ·	76
표 4.14 내력과 외력의 분류 필요성에 대한 학생들의 응답	78
표 4.15 외력이 작용하는 시스템의 역학적에너지 변화에 대한 응답 .....	81
표 4.16 외력이 작용하는 시스템의 내부에너지 변화에 대한 응답 .....	84
표 4.17 열역학적 일의 정의에 대한 응답 .....	85
표 4.18 단열계와 비단열계의 내부에너지 비교 .....	88
표 4.19 면적이 다른 두 경계에서의 일의 크기 비교 .....	91
표 4.20 면적이 다른 두 경계에서의 압력의 크기 비교 .....	94
표 4.21 심층면담과정에서 추출한 시스템에 대한 예비교사의 설명 .....	104

## 그 립 목 차

그림 1.1 연구과정의 개요 .....	7
그림 3.1 예비조사 [문항 1] .....	37
그림 3.2 밀도 순서에 따른 올바른 물체 배치 I .....	40
그림 3.3 밀도 순서에 따른 올바른 물체 배치 II .....	41
그림 3.4 잘못된 물체 배치의 두 유형 .....	41
그림 3.5 예비조사 [문항2]와 [문항 3] .....	43
그림 4.1 보존법칙 문제풀이 과정에서 사용한 시스템의 구성요소 선택과 이유에 관한 문항 .....	70
그림 4.2 외력이 작용하는 시스템 내부의 에너지 변화에 대한 설문 문항(설문지 B - 문항 4) .....	79
그림 4.3 외력이 작용하는 열이 이동 가능한 시스템 내부의 에너지 변화 .....	86
그림 4.4 이상유체가 흐르는 유체계의 물질량, 압력, 일에 대한 문항 .....	89
그림 4.5 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건 (system-based understanding) .....	120
그림 4.6 시스템적으로 이해하기의 핵심 조건인 ‘경계의 명료화’ .....	127

# 1. 서론

## 1.1. 연구의 동기와 목적

과학자들은 실제 세계의 현상을 물리적 세계로 가져와서 탐구 대상을 모델링하고 그 모델을 통해 과학 지식을 생성하고 발전시키며 이를 다시 현상에 적용한다 (Danusso et al., 2010; Gilbert, 2004; Halloun, 1996). 과학자들의 탐구활동과 유사하게, 과학학습에서도 예비교사들이 탐구활동을 통해 과학적 모델을 고안하고 스스로 생성한 모델을 사용하여 현상에 대한 설명체계를 구축하면서 지식을 효과적으로 구성할 수 있다 (Khan, 2007; 장은경 등, 2012).

탐구활동을 통해 과학자와 학생들이 생성하는 모델은 물체, 현상 등의 속성 중에서 관심을 둔 특징들을 표상한 것이며(Gilbert, 2004; 오필석, 2007), 이 표상은 실재(reality)를 계(system)로 규정하는 것에서 시작된다 (Halloun, 2007). Halloun(2007)은 물리적 시스템의 구조와 행동을 통해 특정한 유형을 탐색하고 개념적 구조를 구축하는 것을 통해서 과학적 구조가 생성된다고 설명하였으며, Schwarz 등 (2009)은 현상의 설명과 예측을 위해 시스템을 추상화 단순화한 표상을 거쳐 생성된 것을 모형이라고 지칭하였다.

시스템은 과학탐구와 과학 교수-학습의 여러 측면에서 중요성이 강조되어 왔다. 첫째, 과학자들은 연구 목적에 맞는 시스템을 규정함으로써 연구의 편의성을 향상시킬 수 있다. 실제로 상당수의 연구자들은 고립된 계를 사용하여 연구를 수행하고 결과를 해석한다 (NRC, 2012). 둘째, 시스템은 물리학을 넘어 여러 교과와 과학개념들 사이의 연결고리 역할을

한다. 특히 시스템은 과학의 주요 개념인 에너지, 물질, 구조, 기능, 안정성, 변화 등과 긴밀히 연관되어 학생의 과학개념 발달에 도움을 준다(NRC, 2012). 셋째, 학생들은 개념을 시스템을 중심으로 학습함으로써 통합적 사고 기술을 습득할 수 있다(NRC, 1996).

이와 같이 시스템의 과학교육적 역할에 대한 위상은 점차 증가하여 해외에서는 국가 과학 교육과정 수립을 위한 기준(standards) 또는 과학 교육과정의 핵심개념으로 채택되고 있다. 싱가포르는 중등 과학 교육과정에서 ‘모델과 시스템(models and system)’을 여섯 가지 주제(theme)의 하나로 선정하였으며, 캐나다 온타리오 주는 ‘시스템과 상호작용(systems and interactions)’을 여섯 가지 본질적 개념(fundamental concept)의 하나로 제시하였다. 미국도 차세대과학교육표준(Next Generation Science Standards)에서 ‘시스템과 시스템의 모델(systems and system models)’을 일곱 가지 관통개념(crosscutting concepts)의 하나로 제시하였다(NRC, 2012). 하지만 이러한 외국의 과학 교육과정에 제시된 시스템은 과학 전반에 대한 통합적 기능이 강조되어 물리학 내에서 시스템의 교육적 기능과 학습목표는 상대적으로 잘 드러나지 않았다.

선행연구들에서는 시스템이 물리학의 다양한 영역들에서 서로 다른 개념들과 긴밀히 연계된 개념으로서 물리학습에서 강조되어야 할 필요성이 제기되었다. 김은경 등(2010)은 일과 에너지 등의 개념들이 시스템과 긴밀히 관련되어 있으며, 특히 에너지, 운동량, 전하량, 질량보존법칙 등의 적용과 이해를 위해서 시스템의 학습이 필요함을 강조했다. Kohnle 등(2015)은 양자현상 학습에서 추상적이고 이상화된 시스템에 대한 학습이 양자역학 개념 이해의 기초라고 설명하였다. Samiullah(2007)은 열역학의 가역과정에서 엔트로피 보존에서 고립계에 대한 이해를 강조했으며, 이주현 등(2013)은 비가역 단열과정에서 시스템의 최종상태에 대한



과학고 학생들의 이해를 탐색하였다. 정용욱 등(2011)은 물리학의 동역학 관계식을 시스템을 포함한 존재론적 분석틀로 에너지 보존과 전환에 대한 학습의 시사점을 제안하였다. 이러한 시스템과 관련된 다양한 선행 연구들에도 불구하고, 문제 해결 과정에서 학생들이 시스템의 구성요소를 선택하고 시스템과 주위의 경계를 규정하는 방식(how)과 그 이유(why)를 토대로 물리 법칙 및 개념의 이해를 다룬 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구는 사범대학 물리 전공 학부생들의 보존법칙 적용을 시스템을 중심으로 살펴보았다. 이를 위해 먼저 예비교사들이 정의하는 시스템을 핵심단어를 중심으로 분석하였다. 그리고 운동량 보존법칙과 역학적 보존법칙이 적용되기 위한 조건을 분석하고 이를 시스템을 중심으로 논의하였으며, 시스템을 경계로 작용하는 힘에 대한 이해가 요구되는 내력과 외력의 정의를 문제풀이와 관련하여 자세히 논의하였다. 이와 같은 연구 결과를 토대로 시스템을 중심으로 한 역학 학습에 대한 시사점과 교육적 의의에 대해 논의하고자 한다.

## 1.2. 연구 질문

본 연구의 연구 질문은 다음과 같다.

첫째, 예비교사들은 시스템을 어떻게 이해하고 있는가?

- 1) 예비교사들이 생각하는 시스템의 구성요소는 무엇인가?
- 2) 예비교사들은 시스템을 어떻게 경계 짓는가?
- 3) 예비교사들은 시스템 내외에서 일어나는 상호작용을 이해하는가?
- 4) 예비교사들은 시스템의 상태를 어떻게 이해하는가?

둘째, 예비교사들의 보존법칙 문제풀이에서 나타난 시스템 이해의 특징은 어떠한가?

- 1) 예비교사들은 문제풀이에서 제시된 구성요소들의 특성과 제한 조건에 대해 어떻게 이해하는가?
- 2) 예비교사들은 문제풀이 과정에서 시스템과 주위를 어떻게 경계 짓는가?
- 3) 예비교사들은 문제풀이 과정에서 시스템 내외에서 일어나는 상호작용을 적용하고 있는가?
- 4) 예비교사들은 문제풀이 과정에서 시스템과 그 구성요소의 물리적 상태를 어떻게 이해하는가?

### 1.3. 연구과정의 개요

본 연구는 예비연구와 본 연구로 구성된다. 연구 과정의 세부 단계는 다음과 같다.

예비연구는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건의 일부인 ‘배경 상황의 파악 단계’와 ‘상호작용의 평가 단계’에 대한 탐색을 목적으로 수행되었다. 예비연구의 자료 수집은 서울 소재 사범대학에 재학 중인 물리교육 전공자 40명을 대상으로 2012년 9월 첫째 주와 둘째 주에 걸쳐 실시하였다. 연구 참여자들은 학부 과정 2학년부터 4학년 예비교사들로 구성되었으며 모두 일반 물리학 이상의 강좌를 수강한 경험이 있었다. 문항의 수준은 2009 개정 교육과정의 수준을 넘지 않으며, 일반 물리학 수준의 부력을 학습한 참여자들이 응답할 수 있는 수준으로 구성되었

다. 문제 1은 밀도에 따른 물체의 최종 위치를 묻는 문항이다. 문제 2와 3은 부력, 중력, 저항력을 적용하여 물체가 최종 위치에 이르는 과정에 대한 이해를 탐색하기 위해 개발되었다. 예비연구는 유체 속 물체의 위치와 운동에 대해 시스템 안에서의 상호작용과 경계 짓기에 대해 조사하였다. 일반적인 역학 상황과 달리 시스템 내부의 구성요소가 유체로 교체되었을 때, 시스템 내의 구성요소들의 이해와 함께 구성요소들의 상호작용에 의한 물리량에 대한 이해가 필요하다. 설문 문항은 물체의 밀도와 유체의 밀도라는 정보를 물체의 운동과 최종 위치로 관련 예비교사들의 설명을 분석하였다. 예비교사들은 명시적으로 제시되지 않은 시스템 내부의 상호작용에 고려하지 못하거나 기초적인 운동방정식 적용에서도 어려움을 겪었다.

그러나 예비연구에서는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기의 모든 단계를 전체적으로 살펴보지 않았으며, 예비교사들이 생각하는 시스템과 시스템의 경계 규정을 통한 해석이 명시적으로 드러내는 도구로서는 부족함이 있다. 따라서 본 연구에서는 주제를 보존법칙 상황으로 제한하고, 시스템적으로 이해하기 위한 조건을 구체적으로 살펴볼 수 있는 연구 계획을 수립하였다.

본 연구는 설문과 심층면담으로 구성된다. 설문 참여자들은 서울 소재 사범대학에서 물리교육을 전공하는 학부생 63명이었다. 설문은 2014년 11월 말에서 12월 초까지 총 4회에 걸쳐 실시하였으며, 참여자들은 모두 일반물리학 수준 이상의 물리학 강좌를 수강한 경험이 있었다. 또한 2015년 7월에서 8월까지 6명의 물리교육 전공 학부생을 대상으로 1시간 이상의 심층면담을 수행하였다.

본 연구는 두 부분으로 구성된다. 먼저, 시스템의 정의, 구성요소, 상

호작용, 기능을 설문과 심층면담을 통해 살펴보았다. 설문 및 면담은 서울 소재 사범대학 물리교육 학부생들로 일반물리 이상의 과정을 수강한 학생들로 구성하였다. 본 연구의 두 번째 부분은 보존법칙 문제풀이 과정에서 나타난 예비교사들의 이해를 시스템을 중심으로 분석하였다. 보존법칙은 임의의 시스템에서 보존되는 물리량과 관계되며, 각 보존법칙들의 개념적 설명에서도 시스템에 대한 이해가 강조되고 있다. 본 연구에서 사용한 보존법칙은 고립계와 비고립계 상황으로 구성하였다. 구체적으로 고립계는 역학의 대표적인 보존법칙인 운동량 보존법칙과 역학적 에너지 보존법칙과 관련되며, 비고립계는 열역학 제 1법칙과 베르누이 법칙 관련 문제들로 개발되었다.

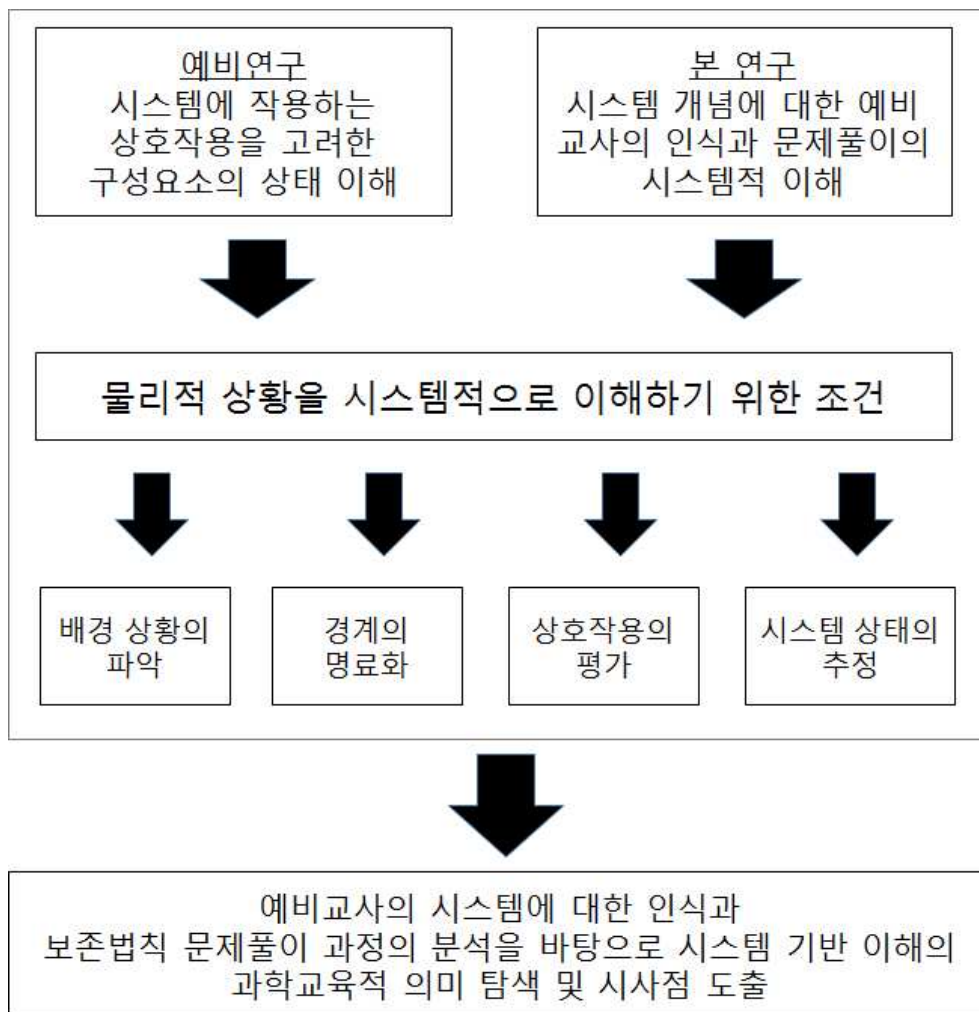


그림 1.1 연구 과정의 개요

## 1.4. 용어의 정의

### 문제풀이(problem solving)

Frazer(1982)는 문제풀이를 “지식과 기술을 이용하여 문제와 풀이 사이를 연결하는 과정”으로 설명하였으며 그 둘 사이의 관련성을 찾고 연결하는 과정으로 설명하였다. 또한 변태진(2012)은 “초기 상태로 놓인 물리 문제를 물리법칙과 이론 등을 활용하여 우리가 원하는 해답을 찾아가는 다리를 놓는 과정”으로 보았다. 본 연구에서는 문제 상황을 해결하기 위해 자신의 지식과 경험을 활용하여 과학 법칙 또는 개념과 설명을 연결하는 과정으로 볼 수 있다.

### 보존법칙(conservation Law)

물리학에서의 보존법칙은 시스템 내부의 구성요소의 운동 상태 및 배열(configuration)이 변화하더라도 변하지 않는 물리량에 대한 법칙을 의미한다. 보존법칙은 물리량이 보존되는 특정 시스템 하에서 생성되었다. 대표적인 보존법칙으로 운동량 보존법칙, 역학적에너지 보존법칙, 전하량 보존법칙 등이 있다.

### 시스템(system)

Bertalanffy (1950)는 시스템을 ‘상호작용하는 요소들의 복합체’로 National Research Council (2011)은 ‘관련이 있는 물체나 전체를 이루는 요소들로 구성된 그룹’으로 정의하고 부분들의 모임을 시스템으로 지칭하였다. Oxtoby 등 (2004)은 시스템이 ‘경계나 수학적으로 정의하여 생

성된 실제 또는 상상으로 정한 우주의 일부분' 또는 '어떤 특정 실험을 수행할 때 관심의 대상이 되는 우주의 한 부분'이라고 정의했다. Lutgens 등 (2008)은 시스템을 “한 복합체를 이루어내는 서로 작용하거나 독립적인 여러 부분들의 모임”이라고 설명했다. 본 연구에서의 시스템은 관찰자의 의도 또는 목적에 의해 상호작용하는 구성요소들이 외부와 경계 지어지며 해석의 대상이 되는 것으로 정의한다.

## 시스템 기반 이해(system-based understanding)

본 연구에서는 제시된 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기(system-based understanding)의 4가지 조건을 제안한다. 첫째, 제시된 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 안다 (배경 상황의 파악). 둘째, 고려하고 있는 법칙과 원리가 적용되는 구성요소를 선택할 수 있다 (경계의 명료화). 셋째, 외부와의 유효한 상호작용을 선별하고 그 효과를 파악할 수 있다 (상호작용의 평가). 넷째, 시스템과 그 구성요소의 물리적 상태를 추정할 수 있다 (시스템 상태의 추정).

## 1.5. 연구의 한계

본 연구는 시스템에 대한 예비교사들의 인식과 시스템에 따른 보존법칙 적용과 이해를 살펴보았다. 선정된 시스템과 관련 보존법칙은 다음과 같다. 고립계에 대해서는 선운동량 보존법칙과 각운동량 보존법칙, 비고립계에서는 열역학 제 1법칙, 베르누이 법칙을 선정하고, 각 시스템과 법칙들의 관계에 대해 살펴보았다. 그러나 선정된 법칙들이 각 시스템을 대표하는 법칙이라고 할 수 없다. 따라서 앞으로 더 많은 법칙 및 개념

들에 대한 연구를 통해 시스템에 대한 예비교사들의 이해를 살펴볼 필요가 있다.

또한, 본 연구에 참여한 예비교사들은 서울 소재 1개 대학교의 물리교육 전공 학부생이다. 특정 학교에 재학 중인 대학생들을 대상으로 이뤄진 연구이기 때문에 전체 대학생의 이해의 특징으로 일반화하기 어렵다. 따라서 다양한 배경을 가진 예비교사들의 이해는 본 연구의 결과와 일치하지 않을 수 있다. 연구 결과의 일반화를 위해서는 보다 다양한 수준과 전공의 학생들을 대상으로 연구가 추가적으로 실행될 필요가 있다.



## 2. 선행 연구와 이론적 논의

### 2.1. 지식의 구조

지식의 구조라는 용어는 1959년 미국의 Woodshole에서 교육학자와 교육전문가들이 미국 학교교육의 문제점에 대한 원인과 해결책을 찾기 위해 제안되었다 (김보경, 2012). Bruner(2010)는 구조를 ‘한 사물을 얹어 매고 있는 요소 또는 그 요소가 얹혀 있는 모양’이라고 설명하였다. 구조는 사물을 내부를 기술하는 것이 아닌 사물을 하나의 온전한 전체 또는 하나의 완결체로서 파악하는 전체성(wholeness)을 의미한다 (이홍우, 1987).

교과에서의 지식의 구조란 교과내용을 요소로 갖는다. 박재문(1998)은 지식의 구조를 각 학문의 내용이나 기본 개념들을 해당 학문의 탐구 방식이나 논리에 의해 조직해 놓은 것으로 설명하였다. 그는 교과서에 제시된 지식은 ‘지식의 현상’ 또는 ‘지식의 표면’이며 지식의 이면에 내재된 것들이 지식이 구조에 해당한다고 주장했다. 김보경(2012)은 지식의 두 층을 이중구조라고 지적하며 지식을 ‘기저구조’와 ‘표면구조’로 분류하였다.

지식의 두 가지 구조를 구분하는 기준은 다음과 같은 특징이 있다 (박재문, 1998; 송미영 & 유영만, 2009; 차미란, 2000). 기저구조는 범교과의 보편적이며 단순한 아이디어이며, 그 자체로 보편적이고 절대적인 지식이다. 기저구조는 개인이 주관적으로 경험하는 것이며 그 자체만을 표현하기 어렵다. 따라서 학생들이 기저구조를 스스로 인식하기 어렵다. 반면에 표면구조는 교과의 특수하고 복잡한 지식으로 객관적으로 명시되

어 공유될 수 있다. 표면구조는 언어적, 비언어적으로 표현 가능하며 그 자체로 인식될 수 있다.

지식의 두 구조를 구성하는 기저구조와 표면구조는 상보적 관계를 갖는다 (김보경, 2012).. 기저구조는 그 자체만으로 표현될 수 없기 때문에 표면구조에 의해서만 표현된다. 또한 표면구조는 기저구조에 근거하여 이해되어야 한다.

학습의 측면에서 지식의 구조가 갖는 장점은 다음과 같다(이홍우, 1987; 권재술 등 2012; 김보경, 2012). 첫째, 기본 개념 중심으로 학습함으로써 교과를 더 쉽게 이해할 수 있다. 둘째, 소수의 개념을 중심으로 교과를 이해할 수 있기 때문에 학습이 경제적이다. 셋째, 기본 개념을 중심으로 교수-학습을 진행할 수 있기 때문에 효율적이다. 넷째, 초보자와 전문가의 지식 사이의 비교를 통해 학습의 연계성을 도모할 수 있다.

전문가와 초보자의 지적 활동은 본질적으로 동일하며 이는 지식의 구조의 핵심 가설이다. 과학교육에서도 과학자와 학생들이 하는 지적 탐구 활동의 성격이 본질적으로 동일하며 (권재술 등, 2012), 교과가 지적으로 올바른 형식으로 표현될 어떤 발달 단계에 있는 아동에게도 효과적인 학습이 가능함을 지적하고 있다. 전문가는 초보자에 비해 한 현상을 다양한 현상과 연결하여 이해하며 사물을 독립적으로 이해하기보다는 지식의 구조를 통해 전체를 파악한다. 브루너는 종래의 교육이 지식을 구성하는 여러 개념들이 서로 관련되며, 한 개념으로부터 다른 개념이 파생되는 아름다움이 강조되어 있지 않다고 주장했다 (이홍우, 1987)

그렇지만 지식의 구조를 개념화하여 보급하기 위한 실천적 노력이 부족하다는 지적은 계속되어 왔다 (박재형, 2004; 김보경, 2012). 박재형 (2004)은 브루너가 지식의 구조를 실천하기 위한 하나의 방안으로 발견

학습을 제안하기는 했으나 발견학습에 대한 적극적인 규정이나 직접적인 설명을 하지 않았다고 지적했다. 김보경(2012)는 지식의 구조가 교사 및 개인에게 주관적으로 이해될 수 있기 때문에 타당성을 검증하는 것이 어렵기 때문이라고 설명했다.

브루너 이후에 교육연구자들 모두가 교과 구조 안에서 교과가 가르쳐져야 한다고 주장하지는 않는다. 하지만 많은 연구자들은 교과를 구성하는 지식요소들을 개별적으로 이해하는 것을 지양하고 서로의 관계를 고려하여 학습할 필요성을 제기하였다 (Kilpatric, Swafford, & Findell, 2001; Jin & Wang, 2014; Skemp, 1978; Bereiter & Scardamalia, 1998; Anderson, 2010; Bransford, Brown, & Cocking, 2000; Chi, Glaser, & Rees, 1982).

## 2.2. 지식요소들의 관계에 대한 학습의 필요성

한 교과를 학습한다는 것은 해당 교과를 구성하는 개념들을 이해하는 것이다. 연구자들은 특정 개념을 이해에서도 다른 개념들 사이의 관계를 파악하며 학습되어야 한다고 강조했다 (Heibert & Lefevre, 1986; Skemp, 1978; Skemp, 1986; Kilpatric, Swafford, & Findell, 2001, Jin & Wang, 2014).

Heibert & Lefevre(1986)는 개념 이해(conceptual understanding)은 개념지식(conceptual knowledge)을 알고 그것들의 관계적 이해(relational understanding)를 아는 것이라고 설명했다. Kilpatric, Swafford, & Findell(2001)은 개념 이해는 수학적 개념, 기능(operation), 관계(relation)를 이해하는 것으로 정의했다. 이는 Jin & Wang(2014)이 개념 이해의 핵심 구성요소의 3가지 단계에서 관계를 강조한 것에서 두드러진다. 첫

번째 단계는 개별적 개념(individual concepts)을 이해하는 단계이며, 두 번째 단계는 개념 묶음 사이의 관계(relations between pairs of concepts)를 이해하는 단계이다. 마지막으로 단계는 개념들과 기능 사이의 관계(relations among concepts and their operations)를 이해하는 것이다. Jin & Wang(2014)의 지적처럼 개념들 사이의 관계와 함께 그 개념들 자체의 기능 또는 법칙 안에서의 기능과의 관계까지 이해되어야 개념을 이해하는 것이 필요하다. 또한 Anderson(2010)은 한 명제를 망조직 연결로 표상하는 것이 기억에 용이하며 학습자가 능동적으로 정보를 연결하는 것이 정보처리에서 중요하다고 설명했다.

이러한 개념들의 관계를 이해하는 것의 중요성은 스키마(schema)에 대한 연구에서도 강조되고 있다. Sternberg(2003)는 스키마를 관련된 개념들을 의미 있는 구조로 지식을 조직하는 심적 틀로서 정의한다. Skemp(1986)는 수학적 규칙에 내재된 개념들을 이해하고 그 개념들이 형성하는 스키마를 학습해야 한다고 설명했다. Glaser & Chi(1988)는 전문가의 초보자의 구분은 그들의 전문 영역에서 문제해결에서 사용하는 스키마의 차이라고 주장했다. 전문가의 스키마는 방대하고 고도로 상호 연관된 지식 단위를 포함한다. 전문가는 초보자에 비해 해당 영역의 지식의 기저에 있는 지식 단위 간의 구조적 유사성에 따라 잘 조직되어 있기 때문이다. 마찬가지로 Chase & Simon(1973)은 초보자와 전문가의 차이가 지식의 양과 조직화 그리고 그 지식을 사용하는 데 있다고 설명했다. 그들은 체스 전문가가 의미 있는 체스판의 배열에 대해서는 말의 위치를 통합하고 조직된 지식의 단위로 기억하지만 무선으로 배열된 배치에 대해서는 초보자와 큰 차이가 없었다고 보고했다.

이 외에도 스키마에 대한 연구들에서는 지식요소들의 관계 맺기의 중요성을 강조된다 (Rumelhart & Ortony, 1977; Thorndyke, 1984;

Komatsu, 1992; Bryson, Bereiter, Scardamlia, & Joram, 1991). Rumelhart & Ortony(1977)는 스키마가 대상에 따라 변할 수 있는 전형적이고 일반적인 사실을 포함하기 때문에 상황에 따른 스키마의 지식요소를 변형할 수 있어야 한다고 설명했다. Komatsu(1992)는 관계에 대한 정보를 포함하는 스키마의 형성을 강조했다. 이를테면 차라는 개념에 대한 스키마를 형성하기 위해서는 트럭과 자동차 사이의 관계를 고려해야 한다. 또한 코끼리라는 개념을 이해하기 위해서는 코끼리의 키와 몸무게라는 한 개념 안에서의 속성 사이의 관계를 고려해야 한다. 또한 빨강이라는 개념을 이해하기 위해서는 체리의 빨강과 사과의 빨강과 같이 빨강과 관련된 개념의 속성들을 고려할 수 있어야 한다. 또한 물고기라는 개념을 이해하기 위해서는 바다라는 배경 지식요소 사이의 관계를 고려하는 것도 스키마 형성에서 중요하다. Bryson, Bereiter, Scardamlia, & Joram(1991)도 초보자의 스키마가 전문가에 비해 상대적으로 적고 단절된 지식 단위로 구성된다고 지적했다. 그들은 초보자의 스키마가 표면적인 유사성에 따라 조직화되어 있기 때문에 지식요소들의 관계를 고려한 조직화가 필요하다고 주장했다.

이와 같이 개념이해를 위해서는 개념 또는 지식요소들의 조직화가 필요하다. 그러나 선행연구들에서는 학생들은 개념들을 조직화하는 것을 어려워하고 교재들에서도 개념들의 관계를 잘 전달해주지 못한다고 지적하고 있다 (Bereiter & Scardamlia, 1998; Bransford, Brown, & Cocking, 2000; Chi, Glaser, & Rees, 1982; 김보경, 2012). Bereiter & Scardamlia(1998)는 학생들이 많은 양의 개념 지식을 갖고 있더라도 그 개념들을 의미 있는 방법으로 연결하지 못한다고 보고하였다. 또한 전문가의 지식이 문제에 대한 사고를 도와주는 핵심개념이나 빅 아이디어를 중심으로 조직되어 있는 반면 초보자는 문제를 표면적으로 인식하고 있

다 (Bransford, Brown, & Cocking, 2000; Chi, Glaser, & Rees, 1982). 이는 초보자들이 문제를 표면적으로만 인식하고 관련된 사실이나 공식을 목록화한 상태로 갖고 있기 때문이다. 또한 김보경(2012)은 교과서의 정보들이 연결되지 않은 정보 위주로 제시되어 있기 때문에 이해를 돕는 연결성이 부족함을 지적하며 지식의 구조화의 필요성을 주장하고 있다.

## 2.3. 시스템 개념을 중심으로 한 지식요소의 조직화

과학교육에서도 단편적인 개념학습에 대한 지적이 계속되어 왔다 (National Research Council, 1996; National Research Council, 2011; 방답이 등, 2013; 이운하 등, 2014). NRC(1996)은 학생들이 여러 교과와 과학개념들 사이의 연계성을 통해 통합적인 사고의 필요성을 강조했다. NRC(2011)은 과학의 주요 개념이 다른 개념들과 긴밀히 연관되어 있기 때문에 주요 개념을 중심으로 한 학습의 필요성을 제안했다. 또한 한 교과의 개념들 사이의 연계성을 넘어서 인접 교과와의 관계를 인식하고 각 교과에서 사용되는 개념들을 통합적으로 학습하는 것의 필요성이 확산되고 있다 (방답이 등, 2013; 이운하 등, 2014).

과학교육에서도 종전의 분과 중심적 교육과정을 공통주제(common themes)를 중심으로 재편성하려는 노력이 수행되어 왔다 (The American Association for the Advancement of Science, 1989, 1993, 2001; National Research Council, 1996, 2011; Achieve, 2013). 이러한 변화는 실제 세계가 학문의 경계처럼 분절되어 있지 않으며(강호감 등, 2007), 학생들의 과학지식 습득과 탐구 실행에서 통합적 안목의 중요성이 강조되고 있기 때문이다. 또한 통합주제는 자연계를 관통하는 통합적 안목이라 할 수 있으며, 다양한 자연현상을 몇 가지 통합적 주제로 묶을

수 있다(최미화, 최병순, 1999). 동일한 맥락에서 빅 아이디어는 독립된 개념을 서로 연결시켜 다양한 현상을 설명할 수 있도록 하는 한 학문 내 또는 다양한 학문을 아우르는 개념이다. 관련된 개념들을 포괄하는 빅 아이디어는 특정 분야에 한정되지 않는 기저가 되는 원리나 모델로 강조되고 있다 (Duschl et al., 2007; Smith et al., 2006; Wiggins & McTighe, 2005).

공통주제로 사용될 수 있는 개념들은 과학에서 사용되는 핵심개념들이 제안되었다. 과학교육과정에서 제기된 공통주제들을 살펴보면 다음과 같다 (표 2.1). Science for All Americans(1989)과 Benchmarks for Science Literacy(1993) 공통주제(Common Themes)로 시스템(system), 모델(models), 불변성과 변화(constancy and change), 척도(scale)를 제안하였다. National Science Education Standards(1996)는 통합개념(Unifying Concepts)으로 시스템, 질서, 조직(system, order, and organization), 증거, 모델, 설명(evidence, models, and explanation), 변화, 불변성, 측정(change, constancy, and measurement), 진화, 평형(evolution, equilibrium), 형태, 기능(form and function)를 제시하였다. Atlas for Science Literacy(2001, 2007)는 시스템(system), 모델(models), 불변성(constancy), 변화의 양식(pattern of change), 척도(scale)를 제안하였다. A Framework for K-12 Science Education(NRC, 2011)은 관통개념(Crosscutting Concepts)으로 규칙성(patterns), 원인과 효과(Cause and effect), 규모, 비례, 양(Scale, Proportion, and quantity), 시스템과 시스템의 모델(system and system models), 에너지와 물질(Energy and matter), 구조와 기능(Structure and function), 안정성과 변화(Stability and change)을 제시하였다. 이 문헌들에서는 공통적으로 시스템 개념이 과학 교과에 제안되었다.

표 2.1. 과학교육과정 관련 문서에서 제시된 공통주제들

과학교육과정 관련 문서	공통주제명	공통주제로 제안된 개념들
<i>Science for All Americans</i> (AAAS, 1989) <i>Benchmarks for Science Literacy</i> (AAAS, 1993)	공통주제(Common Themes)	<b>시스템(system)</b> , 모델(models), 불변성과 변화(constancy and change), 척도(scale)
<i>National Science Education Standards</i> (NRC, 1996)	통합개념(Unifying Concepts)	<b>시스템, 질서, 조직(system, order, and organization)</b> 증거, 모델, 설명(evidence, models, and explanation) 변화, 불변성, 측정(change, constancy, and measurement) 진화, 평형(evolution, equilibrium) 형태, 기능(form and function)
<i>Atlas for Science Literacy</i> (AAAS, 2001 / 2007)	공통주제(Common Themes)	<b>시스템(system)</b> , 모델(models), 불변성(constancy), 변화의 양식(pattern of change), 척도(scale)
<i>A Framework for K-12 Science Education</i> (NRC, 2011)	관통개념(Crosscutting Concepts)	규칙성(patterns), 원인과 효과(Cause and effect), 규모, 비례, 양(Scale, Proportion, and quantity), <b>시스템과 시스템의 모델(system and system models)</b> , 에너지와 물질(Energy and matter), 구조와 기능(Structure and function), 안정성과 변화(Stability and change)

문헌들에서 설명하고 있는 공통주제는 다음과 같은 특징이 나타났다 (표 2.2). 첫째, 초기의 인문사회 분야를 포함한 공통주제의 성격에 비교할 때 최근의 공통주제의 내용 지식의 범위는 과학교과에 집중되며 공학적인 측면도 중시되었다. 이를테면 1990년대의 Benchmarks for Science Literacy(1993)에서는 수학, 과학, 기술은 물론 경제, 정치를 포함한 다양한 학문의 범주까지 통합주제가 적용됨을 강조한 반면, 2010년대의 A



Framework for K-12 Science Education(2011)에서는 통합주제가 과학 분야들 또는 과학과 공학의 연결에서 일관성 있고 조직적인 체계를 갖추는 데 기여한다고 설명 하였다. 이러한 변화는 수학이나 언어에 대한 독자적인 교육표준이 수립되고 이에 따라 과학교육표준이 과학, 공학, 기술에 집중한 결과이다(National Research Council, 2011).

둘째, 공통주제는 분야별 경계를 가로지르는 근본적이며 포괄적인 개념이며, 학생들의 과학적 사고방식의 형성에 기여한다는 점에서 중요하다. 각 표준문서들에서는 통합주제가 학생들에게 과학을 바라보는 실제적인 사고방식을 제공한다고 설명한다. 이 문서들의 논의에 의하면 통합주제는 ‘아이디어, 설명, 이론제기, 설계’와 관련되거나(The American Association for the Advancement of Science, 1989) ‘실제적인 사고방식’(The American Association for the Advancement of Science, 1993) 또는 ‘생산적이며 통찰력 있는 사고방식’(National Research Council, 1996)의 제공을 가능하게 한다.

표 2.2. 과학교육과정 관련 문서에서 제시된 공통주제의 특징

과학교육과정 관련 문서	공통주제의 특징
<i>Science for All Americans</i> (AAAS, 1989)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과학, 수학, 기술 전반에 속함</li> <li>• 분야별 경계를 넘나드는 아이디어이며, 설명, 이론 제기, 관측, 설계에 효율적</li> </ul>
<i>Benchmarks for Science Literacy</i> (AAAS, 1993)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수학, 과학, 기술은 물론 상업, 제무, 교육, 법, 정치 등의 분야에 속함</li> <li>• 이론이나 발견이 아닌 실제적인 사고방식</li> </ul>
<i>National Science Education Standards</i> (NRC, 1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자연과 인공적인 세계에 대한 생산적이며 통찰력 있는 사고방식 제공</li> <li>• 전통적인 과학 분야를 연결</li> <li>• 근본적이고 포괄적임</li> </ul>
<i>A Framework for K-12 Science Education</i> (NRC, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과학과 공학에서 중요한 개념</li> <li>• 다양한 과학지식들을 과학적이고 일관성 있는 조직적인 체계로 만드는 역할</li> </ul>

시스템의 과학교육적 역할에 대한 위상은 점차 증가하여 해외에서는

국가 과학 교육과정 수립을 위한 기준(standards) 또는 실제 과학 교육 과정의 핵심개념으로 채택되고 있다. 싱가포르는 중등 과학 교육과정에서 ‘모델과 시스템(models and system)’을 여섯 가지 주제(theme)의 하나로 선정하였으며, 캐나다 온타리오 주는 ‘시스템과 상호작용(systems and interactions)’을 여섯 가지 본질적 개념(fundamental concept)의 하나로 제시하였다. 미국도 차세대 과학교육표준(Next Generation Science Standards)에서 ‘시스템과 시스템의 모델(systems and system models)’을 일곱 가지 관통개념(crosscutting concepts)의 하나로 제시하였다(National Research Council, 2012).

공통주제로 시스템을 제시한 문헌들에서 제시된 시스템의 특징은 다음과 같다(표 2.3). 첫째, ‘부분들(parts)’, ‘과정들(processes)’, 구성요소들의 ‘상호작용들(interactions)’을 통해 시스템이 정의되고 있다. 이를테면 계의 정의와 관련하여 Science for All Americans(1989)는 ‘서로에게 영향을 미치는 사물들의 집합’을, Benchmarks for Science Literacy(1993)와 Atlas for Science Literacy(2001, 2007)은 ‘임의의 기능을 수행하기 위해 상호작용하는 사물과 과정의 집합체’을, National Science Education Standards(1996)는 ‘하나의 전체를 형성하는 관련 물체들이나 원소들의 조직된 집합’을, A Framework for K-12 Science Education(2011)는 ‘관련이 있는 물체나 전체를 이루는 요소들로 구성된 그룹’을 제시하였다.

둘째, 시스템은 학생들의 사고방식 형성과 관련된다는 점에서 중요한 통합주제이다. 이를테면 Benchmarks for Science Literacy(1993)는 ‘시스템이 높은 차원의 사고(higher-order thinking)를 위한 필수 요소(essential components)’이며, 학생들은 시스템을 학습함으로써 ‘부분의 관점에서 전체를 생각’하고 ‘부분들이 다른 부분들과 또는 전체와 어떻게

관련'되어 있는지를 이해할 수 있다고 설명하였다. 한편 National Science Education Standards(1996)는 학생들이 시스템의 관점에서 사고하고 분석할 수 있다면, 다른 내용 표준(standards)인 '질량, 에너지, 물체, 생물, 사건들의 자취들을 추적'할 수 있다고 설명하였다. 또한, A Framework for K-12 Science Education(2011)은 '연구의 편리성을 위해 작은 부분을 정의하는 것이 중요함'을 강조하였으며, 시스템과 시스템의 모형이 '경계를 정하고 시스템의 분명한 모형을 만드는 것'과 '과학과 공학 전체에서 응용할 수 있는 아이디어를 이해하고 시험하는 방법의 제공'의 측면에서 중요하다고 설명하였다.

표 2.3 과학교육과정 관련 문서에서 제시된 시스템의 특징

과학교육과정 관련 문서	시스템(System)의 특징
<i>Science for All Americans</i> (AAAS, 1989)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 서로에게 영향을 미치는 사물들의 집합</li> </ul>
<i>Benchmarks for Science Literacy</i> (AAAS, 1993)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 높은 차원의 사고를 위한 필수요소이며, 임의의 기능을 수행하기 위해 상호작용하는 사물과 과정의 집합체</li> </ul>
<i>National Science Education Standards</i> (NRC, 1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하나의 전체를 형성하는 관련 물체들이나 원소들의 조직된 집합</li> </ul>
<i>A Framework for K-12 Science Education</i> (NRC, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관련이 있는 물체나 전체를 이루는 요소들로 구성된 그룹</li> </ul>

시스템은 교과와 핵심 개념으로서 지속적으로 제시되고 있으며 경계, 상호작용하는 부분, 창발성, 복잡성의 측면에서 학습이 제기되고 있다. 첫째, 시스템의 경계(boundary)에 대한 세부 학습목표는, '시스템의 위계, 경계의 불분명함, 목적에 따른 경계 선택의 중요성, 경계를 통한 물질과 에너지의 이동'으로 구성되었다. 모든 문서에서 제시된 학습목표는 시스

템의 위계성에 대한 이해와 목적에 따른 경계 선택의 중요성의 이해이다. 특히 과학의 여러 보존법칙은 특정 시스템에서 보존되는 물리량에 대한 법칙으로 목적에 따른 시스템의 규정과 관련 물리량과의 관계를 이해하는 것이 중요하다. A Framework for K-12 Science Education(2011)은 시스템과 시스템의 모형이 ‘다른 세 관통개념 ‘에너지와 물질(energy and matter)’, ‘안정성과 변화(constancy and change)’, ‘구조와 기능(structure and function)’ - 을 통해 분명해짐을 명시하여, 규정된 시스템의 물리량과 항상성, 기능의 이해가 통합주제로서 중요함을 강조하고 있다. 한편, Benchmarks for Science Literacy(1993)와 Atlas for Science Literacy(2001, 2007)는 시스템의 경계에 대한 학습이 6-8학년과 9-12학년에서 달성할 목표로 고학년에 적합한 내용으로 제시되었다.

둘째, 상호작용하는 부분(interacting parts)에 대한 세부 학습목표는, ‘부분들의 상호작용을 통한 전체에 대한 이해, 입력과 출력에 대한 이해, 피드백에 대한 이해’로 구성되었다. 모든 문서에서 제시된 학습목표는 시스템의 경계를 통한 입력과 출력에 대한 이해로 나타났다. A Framework for K-12 Science Education(2011)은 다른 관통개념인 ‘안정성과 변화(constancy and change)’와 관련하여 ‘시스템의 조절과 유지(피드백)’을 강조하였으며, Next Generation Science Standards(2012)는 시스템과 시스템 사이의 상호작용이 모델을 통해 모의실험(simulation)할 수 있으며 그 상호작용이 다른 관통개념 중 하나인 ‘에너지와 물질(energy and matter)’과 관련되어 있음을 강조하였다. 한편, Atlas for Science Literacy(2001, 2007)에서 가장 많은 7개의 과학지식과 탐구기능의 학습목표가 제안되었다. 시스템의 경계가 고학년의 학습목표로 제시된 반면, 상호작용은 상대적으로 저학년인 K-2, 3-5, 6-8 학년군에서 달

성해야 할 목표로 제안되었다.

셋째, 창발성(emergent property)에 대한 세부 학습목표는, ‘부분들의 상호작용의 결과로 새로운 기능 발생을 이해, 부분이 변하면 전체의 특성이 변화함을 이해’로 구성되었다. 창발성은 시스템의 부분들이 갖고 있지 않던 성질이나 기능이 전체 시스템에서 나타나는 것을 의미한다. 창발성은 Benchmarks for Science Literacy(1993)에서 시스템의 학습목표로 제시된 후 계속해서 제시되고 있으며, 초기에는 공학과 관련된 탐구 활동 위주의 학습이 제안되었다. 예를 들어, 종이, 나무, 플라스틱 등으로 작동하는 물체 만들기(K-2 grade), 기계나 전자장치를 수리할 때 원인을 점검, 부품을 교환, 전문가에게 조언 받기(9-12 grade) 등의 공학적 활동이 있다. 한편, Atlas for Science Literacy(2001, 2007)는 전체 학년에 걸쳐 고르게 5가지의 과학지식과 탐구기능을 학습목표로 제안하였다.

넷째, 복잡성(complexity)에 대한 세부 학습목표는, ‘통계와 전형적 예에 대한 이해, 비결정성에 대한 이해’로 구성되었다. 복잡성은 창발성과 함께 Benchmarks for Science Literacy(1993) 이후 지속적으로 제시된 학습목표로, 많은 구성요소들로 이루어진 시스템의 이해를 목적으로 한다. 복잡성은 학년 전체에 고르게 학습목표가 제안되어 있으며, 학년에 따라 논의되는 수준을 차별하도록 한다. 예를 들어, 저학년 학생들의 경우, 시스템의 복잡성을 학습함으로써 어떤 일에 영향을 주는 모든 요소를 알 수 없기 때문에 앞으로 일어날 일을 확신하지 못함을 이해할 수 있도록 한다. 반면, 고학년의 학습목표는 학생들이 통계적 접근을 통해 평균, 범위, 요약, 전형적 예를 통해 복잡한 시스템을 학습하고, 이를 통해 부분이나 부분의 연결의 변화 또는 미세한 조건의 차이에 의해서도 예측이 정밀하지 못함을 통해 인과적 결정론이 항상 적용될 수 없음을 이해하는 것으로 확장된다.

표 2.4 선행연구에서 제시된 시스템 개념의 학습 목표

시스템의 속성	학습 목표
경계 (Boundary)	1. 위계성에 대한 이해
	2. 경계의 불분명함을 이해
	3. 목적에 따른 경계 선택의 중요성의 이해
	4. 경계를 통한 물질과 에너지의 이동을 이해
부분들의 상호작용 (Interacting parts)	1. 부분들의 상호작용을 통한 전체의 이해
	2. 입력/출력에 대한 이해
	3. 피드백에 대한 이해
창발성 (Emergent property)	1. 부분들의 상호작용의 결과로 새로운 기능 발생을 이해
	2. 부분이 변하면 전체의 특성이 변화함을 이해
복잡성 (Complexity)	1. 통계와 전형적 예의 이해
	2. 비결정성에 대한 이해

## 2.4. 물리학의 보존법칙과 시스템 개념

물리학의 보존법칙은 시스템 내부의 물리량이 일정함과 관련되는 법칙이다. 보존되는 물리량을 통해 시스템 내부의 구성요소들의 운동 상태 및 시스템의 상태를 해석한다. 물리학의 보존법칙은 운동량 보존법칙, 에너지 보존법칙 등이 있으며 각 보존법칙이 적용되기 위해서는 시스템과 관련된 이해가 필요하다.

운동량 보존법칙은 물리학에서 가장 기본적인 법칙 중 하나이며 뉴턴 역학이 적용되지 않는 상대론적에서도 운동량 보존법칙은 성립한다 (Fowles & Cassiday, 2005). 일반적으로 사용되는 운동량 보존법칙은 외부에서 작용하는 알짜힘이 없는 고립된 시스템에서 총 운동량이 보존된다. 시스템 내부에서 충돌과 같은 상호작용이 발생하더라도 두 물체의 총 운동량은 뉴턴의 제 3법칙에 의해 동일한 크기와 반대 방향의 힘이

작용하여 보존되게 된다.

예를 들어, 여러 입자로 분리된 포사체의 질량중심은 입자들이 다른 물체와 부딪히지 않으며 이동할 때 포물선 경로와 동일하게 진행한다. 이와 같이 입자계에 작용하는 외력이 없거나 외력이 모두 상쇄되는 경우에는  $\sum F_i = 0$ 이어서  $a_{cm} = 0$ 이고  $v_{cm}$ 은 상수이다. 그러므로 입자계의 선운동량은 항상 일정하다. 이는  $\sum p_i = p = mv_{cm} = constant$ 로 표현되며 선운동량의 보존법칙으로 사용된다. 뉴턴 역학에서 고립된 입자계의 선운동량이 일정한 것은 제 3법칙과 직접 관련되는 결과이다. 그러나 자기력처럼 작용-반작용 법칙을 따르지 않을 경우에도 입자의 전체 선운동량과 자기장을 고려하면 선운동량의 보존법칙이 성립될 수 있다.

한편, Knight 등 (2009)은 선운동량 보존법칙을 다음과 같이 설명했다. 2개 이상의 물체로 이뤄진 입자계가 움직일 때, 그 시스템은 전체가 총 운동량을 갖는다. 입자계의 총운동량은 개별입자들의 운동량의 벡터 합이다. 특히 그는 임의의 물체들로 이루어진 시스템을 통한 운동량 보존법칙 및 내력과 외력을 중요성을 설명하였다. 시스템 내의 각 입자쌍은 작용-반작용 힘의 쌍으로 상호작용하고 있다. 두 입자의 충돌과 마찬가지로 두 입자의 운동량 변화는 서로 반대방향으로 같은 크기이다. 따라서 상호작용하는 힘들에 의한 두 입자의 운동량의 알짜 변화는 0이다. 같은 논의를 모든 쌍의 입자에 적용하면 입자 사이의 힘이 얼마나 복잡한가에 상관없이 시스템의 총 운동량은 변하지 않는다. 이 때 시스템 내부에 있는 입자 사이에서 작용하는 힘을 내력(internal force)라 한다. 다른 말로 내부 힘만 작용하는 시스템의 총 운동량은 보존된다. 반면 시스템 외부에서 힘이 작용하면 이를 외력(external force)라 한다. 외력은 시스템의 운동량을 변화시킨다.

즉, 시스템에 외력이 작용하지 않으면 시스템의 총 운동량은 보존된다. 또한 시스템에 작용하는 알짜 외력이 0인 경우에도 시스템의 총 운동량이 보존된다. 시스템의 운동량을 변화시킬 수 있는 외력이 없을 때, 이 시스템을 고립계(isolated system)이라 한다. 즉, 고립계의 총 운동량은 상수이며, 시스템 내부의 상호작용은 시스템의 총 운동량이 변하지 않는다는 것을 운동량 보존법칙이라 부른다.

Knight 등 (2009)은 운동량 보존법칙에 대한 문제풀이 전략을 제시했다. 운동량 보존법칙을 적용하기 위해서 “가능하면 고립계”를 고르거나, “상호작용이 충분히 짧고 강해서 그 작용시간 동안 외력을 무시할 수 있는 시스템”을 고른다. 그러나 고립계를 고르기 어렵다면 “운동의 한 구간 동안 운동량이 보존되도록” 문제를 여러 부분으로 나눈다.

문제풀이 단계의 첫 단계에서 시스템을 분명히 정의하는 것이 필요하다. 이는 문제를 풀 때 생기는 많은 실수가 운동량 보존을 적절하지 않은 시스템에 적용하기 때문이다. 즉, 학습자는 운동량이 보존되는 시스템을 선택하는 것을 목표로 해야 한다. 그리고 보존되는 것이 시스템 안에 있는 개별 입자의 운동량이 아니라 시스템의 총 운동량이라는 것을 이해해야 한다.

선운동량 보존법칙의 경우와 마찬가지로 각운동량의 경우에도 시스템을 선택하고 시스템의 외부에서 작용하는 물리량이 고려되어야 한다. Fowles & Cassiday (2005)은 어떤 입자계의 각운동량의 시간변화율은 모든 외력이 그 입자계에 작용하는 모멘트의 합과 같다. 입자계가 고립되어 있다면  $N=0$ 이고, 각운동량은 크기와 방향이 일정하다.  $L = \sum r_i \times m_i v_i = \text{constant vector}$  의 수식으로 각운동량 보존법칙을 설명할 수 있다. 이는 중심력장에서 단일입자에 적용되는 보존법칙을 일반화



한 것이다.

물리학은 물론 과학 전반에서 에너지 보존법칙은 보편적으로 사용되고 있다. 그 중에서 역학 분야에서는 역학적에너지 보존법칙에 대한 이해가 시스템을 구성하는 구성요소들의 운동상태 및 시스템의 상태 해석에서 중요하다.

역학적에너지(mechanical energy)는 운동에너지와 위치에너지의 합으로 운동이 진행되면서 항상 일정한 상수이다. 그러나 역학적에너지가 보존되기 위해서는 시스템 내부의 구성요소 사이에 작용하는 힘이 보존력(conservative force)으로 정의되어야 한다. 위치에너지를 갖지 않는 비보존력은 마찰력처럼 역학적에너지가 소실된다 (Fowles & Cassiday, 2005). 보존력은 위치에너지 함수  $F_x = -\frac{dV(x)}{dx}$ 의 형태로 유도된다. 이때  $x$ 축을 따라서 A에서 B까지 입자에 힘이 작용하여 한 일은  $\int F_x dx = -\Delta V = V(A) - V(B)$ 로 정의된다. 즉, 시스템 내부의 힘이 보존력일 경우 한 일은 퍼텐셜에너지의 상태함수로 정의된다. 힘이 한 일은 운동의 양끝 지점에서의 위치에너지만 관계되기 때문이다 (Fowles & Cassiday, 2005).

에너지 보존법칙은 역학적에너지 보존법칙에만 한정되지 않는다. 여러 가지 형태의 에너지가(운동, 정전기, 중력, 화학, 핵에너지)가 에너지 보존칙의 대상이 된다. 에너지는 한 형태에서 다른 형태의 에너지로 전환될 수 있으며 우주 내의 총 에너지는 결코 변하지 않으며 일정하다 (김승곤 등, 2001). 예를 들어, 기체가 들어 있는 용기 또는 열 역학계에서 시스템의 에너지가 증가하였다면 밖으로부터 에너지가 유입되었다고 볼 수 있다. 에너지는 기체 내의 일부나 시스템 내에서 추가적으로 생성

되지 않는다. 이 때 시스템으로 유입되거나 방출되는 매커니즘은 열과 일로 분류된다.

열은 두 물체 사이의 온도차에 의해 한 물체에서 다른 물체로의 자연스런 에너지 흐름으로 정의할 수 있다. 온도가 높은 곳에서 온도가 낮은 곳으로 흐른다. 다양한 과정에서 전달되는 에너지를 열이라고 부른다. 또한 열역학에서의 일은 시스템에서 빠져나가거나 들어오는 에너지 전달로 정의할 수 있다. 피스톤을 밀거나 저항에 전류가 흐를 때 시스템에 일을 한다고 할 수 있다. 이러한 경우에 시스템의 에너지는 증가하며 온도 역시 상승한다. 그러나 에너지의 흐름은 온도차에 의한 자연적인 것이 아니므로 시스템이 가열되고 있다고 설명하지 않는다. 보통 일이 관여할 때는 자동적으로 일어나지는 않으나 시스템에 에너지를 공급하는 어떤 힘을 확인할 수 있다.

열과 일은 에너지가 이동 중임을 의미한다. 시스템 내의 총 에너지를 언급할 수 있으나 시스템 내에 얼마나 많은 열 또는 얼마나 많은 일이 있냐고 묻는 것은 의미가 없다. 단지 시스템에 얼마나 많은 열이 공급되는가 또는 얼마나 많은 일이 가해졌는가를 말할 수 있을 뿐이다.

시스템 내부의 에너지를  $U$ , 열을  $Q$ , 일을  $W$ 라고 하자. 이 때 열과 일이 시스템으로 들어오면  $+$ , 나가면  $-$  값을 갖는다고 약속할 수 있다. 이 때 시스템에 공급된 총 에너지는  $Q+W$ 이며 에너지 보존법칙에 따라 이 양은 시스템의 에너지가 변하는 양과 같다. 이는  $\Delta U = Q+W$ 로 표현할 수 있다. 즉, 에너지 변화는 시스템에 공급된 열과 일의 합과 같다.

열역학에서 사용되는 일을 다루는 가장 대표적인 예는 피스톤을 미는 압축에 의한 시스템에 가해진 일이다. 고전 역학에서 일은 작용한 힘과 움직인 거리를  $W = \vec{F} \cdot d\vec{r}$ 로 정의한다. 기체의 경우 압력과 부피의 변화

로 정의한 일로 표현하는 것이 편리하다. 이는  $W = \vec{F} \Delta \vec{x}$  이다.

한편, 시스템이 포함하고 있는 에너지를 다루는 대신에 일을 추가할 수 있다. 이 일은 주위의 압력과 시스템의 부피의 곱이다. 에너지에 이 일  $P \Delta V$ 를 더한 양을 엔탈피라고 하며  $H$ 로 표기한다.

$$H \equiv U + P \Delta V$$

$H$ 는 무에서 시스템을 창조하고 시스템을 공간에 배치하는데 고려해야 할 전체 에너지의 합이다. 즉, 시스템을 임의 공간에서 제거하고자 할 때는  $U$ 뿐만 아니라 시스템이 없어져 생긴 공간을 메우는 데 필요한 일  $P \Delta V$ 도 고려해야 한다.

시스템과 주위에서 교환되는 일은 힘과 관련하여 논의되어야 한다. 그러나 힘 개념에 대한 선행연구들에서는 학생들이 힘을 물체의 속성으로 이해하고 있다고 지적한다. 힘 개념에 대한 학생들의 이해에 대한 연구를 (Clement, 1982; Hake 1998; Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992; Minstrell, 1982) 비롯하여, 힘은 뉴턴 3법칙에 대한 학생들의 이해에 대한 연구들이 계속해서 수행되어 왔다 (Brown, 1989; Montanero et al., 2002; Terry & Jones, 1986) 또한 Savinainen et al. (2005)은 일반적으로 대부분의 학생들이 뉴턴의 3법칙과 힘 개념에 대한 이해가 부족하다고 보고하였다. 이는 뉴턴의 3법칙이 가르치고 배울 때 모두 어렵다는 결과를 보여준다.

Terry & Jones (1986)는 학생들이 힘이 스스로 존재하는 것이나 사건으로서 물체의 속성(properties)으로 생각하였다. Savinainen et al. (2005)은 그 이유가 학생들은 힘을 물체의 본질적(innate) 또는 획득된(acquired) 속성으로 생각하고 다른 물체 사이에서의 상호작용에 의한 것으로 보지 않았기 때문이라고 해석하였다. 그 중에서도 많은 학생들이

움직이지 않는(inanimate and inert) 물체는 힘을 작용하지 않는다고 믿고 있다고 지적하였다. 예를 들어, 학생들은 탁자는 그 위에 놓여 있는 책에 힘을 작용하지 않는다고 생각한다는 것이 대표적이다 (Minstrell, 1982).

이와 같이 획득된(acquired) 속성으로서의 힘에 대한 학생들의 생각은 pre-Galilean 관점인 임페투스(impetus)와 밀접하게 연결되며, 학생들은 “기동력(motive power)” 또는 “내재력(intrinsic force)”에 의해 움직임이 지속되는 것으로 인식하게 된다 (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992; Sequira & Leite, 1991). Savinainen et al. (2005)은 이 관점을 갖는 학생들은 임페투스의 공급에 의해서만 물체가 움직인다고 생각하게 된다고 설명했다. 또한 이러한 관점은 힘은 상호작용에 의한 것이라는 것은 물론 뉴턴의 1법칙과도 일치하지 않는다.

Hestenes, Wells, and Swackhamer (1992)는 뉴턴적 사고로의 전환을 위한 가장 마지막 단계에서 극복해야 할 대안 개념으로 운동에 대한 임페투스 개념이라고 지적하고 있다.

내재적(innate) 속성으로서의 힘에서 상호작용으로서의 힘으로의 변화는 학생들의 기존의 생각의 단순한 확장이 아닌 관점의 변화를 필요로 한다 (Savinainen et al., 2005). 게다가 이러한 변화는 “세계의 본성(nature of world)”에 대한 기초적 믿음의 수정과 관련되며, Chi, Slotta, and de Leeuw (1994)는 이것이 존재론적 변화(shifts)와 관련된다고 지적했다. Chi et al. (1994)은 개념 변화(conceptual change)는 존재론적 변화(ontological shift)와 관련된다고 주장한다. 물체의 내재된 속성으로서의 힘에 대한 개념은 두 가지로 분류된다. 하나는 존재론적 범주의 “물질(matter)”이고 다른 하나는 존재론적 범주의 “과정(processes)”에

속하는 상호작용에 의한 힘에 대한 과학적 관점이다. Chi에 따르면 개념이 두 범주 사이에서 변화할 때 개념 변화가 일어난다.

Giancoli (2004)의 뉴턴의 3법칙에 대한 설명은 다음과 같다. “한 물체가 다른 물체에 힘을 가하면(exert), 힘을 받은 물체는 힘을 준 물체에게 동일한 반대 방향의 힘을 가한다(Whenever an object exerts a force on a second object, the second object exerts an equal and opposite force on the first)”. Savinainen et al. (2005)는 이러한 진술이 상호작용을 명확히(explicitly) 설명하지 못하고 있다고 지적했다.

힘 개념의 이해에서의 상호작용의 중요성에 대해 많은 연구자들도 물체들 사이의 상호작용으로서의 힘이 더 효율적으로 학습되어야 한다고 강조했다 (Brown, 1989; Hellingman, 1989, 1992; Jimenez & Perales, 2001; Reif, 1995a; Rief & Heller, 1982).

Rief (1995)는 운동과 상호작용을 기술하기 위해서 물리 시스템(physical system)의 분석을 제안했다. 그는 존재하지 않는 힘(nonexistent force)를 포함하지 않음으로써 상호작용을 규정해야 한다고 주장했다.

이 장에서는 보존법칙을 이해하고 적용하기 위해서 시스템 개념이 중요함을 정리하였다. 앞에서 정리한 것과 같이 여러 보존법칙들은 특정 시스템에서 정의되었기 때문에 보존법칙을 적용하기 위해서는 적용하고자 하는 물리적 상황이 특정 시스템의 조건을 만족하도록 설정해야 한다. 이를 위해서는 시스템에 포함해야 할 대상을 선정하고 시스템과 주위의 구성요소들의 물리적 특성을 제한하는 것이 요구된다.

### 3. 예비연구: 시스템에 작용하는 상호작용을 고려한 구성요소의 상태 이해<sup>1)</sup>

예비연구는 학생들의 유체로 이루어진 시스템 내부의 구성요소의 특성을 파악하고 이를 시스템 내부의 물체의 운동상태를 이해에 적용하는 방식을 탐색하였다. 이 과정에서 구성요소의 특성과 시스템에 작용하는 상호작용을 이해하는 것이 물체의 운동상태를 예측 행위에서 중요한 요인으로 작용하였다.

#### 3.1. 연구의 필요성 및 목적

물리 상황을 이해하기 위해서는 시스템의 경계를 선택하고 시스템에 작용하는 상호작용을 파악하는 것의 중요성은 강조되어 왔다 (The American Association for the Advancement of Science, 1989, 1993, 2001); National Research Council, 1996, 2011; Achieve, 2013). 시스템을 이해하는 것은 에너지와 물질, 안정성과 변화 등과 관련되어 있기 때문에(National Research Council, 2011), 시스템 내부의 물질적 상태를 예측하는 데 있어 중요하다.

시스템 전체 또는 시스템 내부의 물질의 물리적 상태를 파악하기 위해서는 시스템의 경계를 출입하는 물리량과 시스템과 시스템 사이의 상호작용을 이해가 필요하다. 이러한 이유로 Benchmarks for Science

---

1) 이 장의 주요 내용은 ‘지영래 & 송진웅. (2014). 유체 속 물체의 위치와 운동에 대한 예비교사의 이해. 새물리, 64(4), 426-435.’에 발표되었다. 이와 함께 추가로 분석된 내용이 포함되어 있다.

Literacy(1993)와 Atlas for Science Literacy(2001, 2007)에서는 시스템의 경계에 대한 학습을 강조하고, Framework for K-12 Science Education(2011)은 시스템의 경계를 통한 입력과 출력을 이해하는 것의 필요성을 강조하였다.

또한 다수의 물질이 포함된 시스템은 구성요소들의 무선(random) 운동을 이해하기 위해 통계와 비결정성에 대한 이해가 요구된다 (The American Association for the Advancement of Science, 1993). 따라서 유체와 같이 다수의 분자들이 포함된 시스템은 단일한 입자의 해석에 비해 수학적 기법 또는 고차원적 사고가 요구된다.

이러한 측면에서 부력은 일상생활에서 쉽게 관찰할 수 있는 물리적 상황이지만 물리학 학습 초기에 접하는 역학적 상황에 비해 시스템의 구성요소에 대한 이해와 시스템의 해석에서 어려움이 나타날 수 있다. 예비연구는 다수의 구성요소로 구성된 물리적 상황에서 나타나는 예비교사들의 이해를 시스템의 관점에 기초하여 분석하였다.

부력은 유체 안의 물체 단면에 작용하는 압력에 의해 발생하는 힘의 차로, 일상 생활에서 많이 관찰되는 액체와 기체 안에서의 물체 운동과 관련된다(이재석 & 이봉우, 2010). 부력을 이해하고 적용하기 위해서는 유체 내부의 임의의 지점에서의 압력과 운동방정식의 적용에 대한 학습이 필요하다. 현재 유체에서의 운동의 중요성은 2009 개정 교육과정에 반영되어, 물리 I의 ‘에너지’ 단원의 소단원인 ‘힘과 에너지의 이용’에 ‘유체의 법칙’이 포함되어 전반부에 부력에 대한 이해가 학습 목표로 강조되고 시행되고 있다(교육부, 2009).

부력에 대한 선행 연구를 수행한 연구자들은 학생들이 전 학년에 걸쳐 물체에 작용하는 부력에 대한 설명에 어려움을 겪고 있다고 지적하고

있다. Stepan's 등은 뜨고 가라앉는 개념에 대해 초등학교 저학년과 고학년, 중학생, 대학생 사이에 정답률이 비슷하며, 부력에 대한 설명이 부정확함을 지적하였다(Stepan's et al., 1988). Howe (1990) 등은 중학생들이 초등학생보다 일상생활 용어보다는 과학적 용어를 더 많이 사용했지만 정확한 이해 없이 용어를 사용한다는 것을 보였으며, 대학생들도 물 속에서 물체가 뜨고 가라앉는 상황을 과학적으로 바르게 설명하지 못한다는 연구 결과들이 있다(McKinnon & Renner, 1971; McDermotte, 1996; Heron et al., 2003). 이재석 & 이봉우 (2010)는 대부분의 초 중 고 학생들이 물 위에 떠 있는 물체에 작용하는 부력이 중력보다 크다고 응답하거나, 아르키메데스 원리의 문제에서 높은 정답률을 보였지만 부력 개념을 사용하여 과학적으로 설명하지 못함을 지적하였다. 위의 연구들에서는 학생들이 부력이나 압력과 같은 과학적 용어를 사용하지만, 부력을 정확히 이해하여 설명하지는 못한다는 지적을 공통적으로 하고 있다.

또한 부력에 대한 부정확한 이해는 학생들이 다른 과학 개념과 혼동하거나 압력에 대한 개념적 이해의 부족함에 원인이 있다고 지적한다. 이는 유체 분자들로 이뤄진 시스템이 갖는 특성에 대한 이해가 단일 입자에 작용하는 물리량에 비해 이해하기 어렵기 때문이다. 이형철과 이순자 (2000)는 초등학교 교사들이 수업에 적용한 원리를 그대로 부력에 적용했으며, 수업 학습 후 부력 단원을 학습하면 학생들은 부력이 수압과 마찬가지로 수심이 깊어질수록 커진다는 오개념이 발생할 수 있다고 지적하였다. 김희경과 김희진 (2009)은 예비 중등교사들이 압력이 작용하는 방향이 중력방향이며, 유체 내의 한 점에서 수직방향으로의 압력이 다른 방향보다 더 크다고 설명하였으며. 손진환 등(2003)과 김희경 등(2009)은 예비 중등교사들이 압력을 깊이의 함수로 생각하고 유체 내의 한 점에서의 압력이 특정한 방향을 갖는 벡터량으로 이해하고 있다고 지



적하였다. 권도현과 권성기 (2000)는 초등학생들이 물체가 물에 뜨고 가라앉는 현상에 대해 여러 개념을 갖고 있고 일관성이 부족하며, 제시되는 문제 상황에 따라서 부력을 밀도, 압력 등의 개념으로 사용한다고 지적하였다.

이와 같은 국내외에서 수행된 대부분의 선행 연구는 유체 내부에서 임의의 위치에 정지한 물체에 작용하는 부력과 압력의 크기 또는 방향에 대해 질문하는 항목으로 구성되어 있다(이재석 & 이봉우, 2010; Stepan et al., 1988; 이형철 & 이순자, 2000; 김희경 & 김희진, 2009; 손진환 등, 2003; 권도현 & 권성기, 2000). 그렇지만 학생들이 유체 내부에 임의의 위치에 정지해 있는 물체에 대한 이해의 부족은 물체의 특정 위치 도달 과정에 대한 학습의 부족과 관련된다.

이 예비연구는 물리 전공 예비 교사들이 물체의 최종 위치의 예측에서 다수의 물질로 구성된 시스템이라는 유체의 특성과 시스템에 작용하는 상호작용에 대한 이해와 적용을 조사하였다. 예비연구는 본 연구에서 다루게 될 물리적 현상을 시스템적으로 이해하기 위한 조건에 대한 기초 자료 수집으로서 의미가 있다.

## 3.2. 연구 대상 및 조사 내용

본 연구의 참여자들은 서울 소재 사범대학에 재학 중인 물리교육 전공자 40명으로, 설문은 2012년 9월 첫째 주와 둘째 주에 걸쳐 실시하였다. 이들은 2학년에서 4학년 학생들로 구성되었으며 모두 일반 물리학 이상의 강좌를 수강한 경험이 있었다. 본 연구의 내용은 2009 개정 교육과정의 수준을 넘지 않으며, 일반 물리학 수준의 부력을 학습한 참여자들이 응답할 수 있는 수준으로 구성되었다.

연구는 예비 교사들이 설문지에 응답하는 방식으로, 설문에 응답하는 시간은 총 30분이었다. 본 연구에 참여하지 않은 동일 대학 물리교육 전공자 4명에게 예비설문지를 사전검사로 실시하였으며, 그 결과를 토대로 설문지를 수정하였다. 설문지는 과학교육 전문가 3명(과학교육학 박사 2명, 석사 과정에 재학 중인 현직 중등교사 1명)이 내용 타당도를 검증하였다. 설문지의 1번 문제는 Loverude (2009)의 문항을 차용하였고, 문제 2, 3, 4번은 자체 개발하였다.

설문지의 문제 1은 밀도에 따른 물체의 최종 위치를 묻는 문항이다. 부피는 같지만 질량이 다른 물체 중 질량이 가장 큰 물체는 수조 바닥에 닿아 있고, 질량이 가장 작은 물체는 물에 완전히 잠기지 않은 상태로 떠 있다. 밀도가 가장 크거나 작은 물체를 제외한 나머지 세 물체들의 최종 위치 배치와 그 이유를 통해 물체의 밀도와 부력의 크기, 그리고 최종 위치의 관계에 대한 예비 교사들의 설명을 분석하였다(그림 3.1).

문제2와 3은 부력, 중력, 저항력을 적용하여 물체가 최종 위치에 이르는 과정에 대한 이해를 탐색하기 위해 개발되었다. 문제2와 3의 물체는 액체와 밀도가 동일하지만, 초기 위치는 각각 수면 위와 액체의 중간보다 약간 높은 위치에 제시되었다. 문제2의 물체는 아래 방향으로 운동하며, 작용하는 저항력과 바닥과의 반발계수에 따라 다양한 최종 위치가 결정된다. 반면에 문제3은 부력과 중력을 제외한 힘이 작용하지 않아 처음 위치에 그대로 정지한다. 저항력을 고려하는 것도 유체에서의 물체의 운동의 이해의 중요한 부분이기 때문에, 연구자는 각 문항에 쓸림 계수를 제시하지 않았다(그림 3.2).

표 3.1 예비연구의 문항 구성

	Specific	Common
문항 1	밀도의 크기 순서	중력, 부력의 크기, 알짜힘, 밀도
문항 2	초기 위치(또는 초기 상태)	
문항 3		

### 3.3. 연구 결과 및 논의

#### 3.3.1. 상호작용하는 물리량에 따른 시스템의 물체의 상태 예측

문제1은 밀도가 서로 다른 물체 중 가장 작은 밀도와 가장 큰 밀도의 물체의 위치를 제시했으며, 연구 참여자들에게 나머지 세 물체의 최종 위치를 표시하고 이유를 쓰도록 하였다. 본 문항은 단일한 정답이 존재하지 않는데, 그 이유는 3가지로 물체와 유체의 밀도를 가정하는 방법, 물체의 처음 운동 상태(또는 초기 위치), 그리고 유체와의 저항력에 따라 다양한 위치가 가능하기 때문이다.

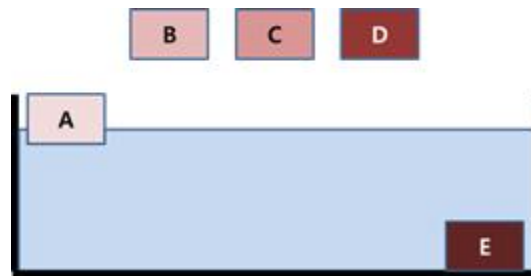


그림 3.1. 예비조사 [문항 1]: 유체 속에서 나무토막 A와 E의 위치는 그림과 같다. 모양과 크기가 같은 나무토막의 질량이  $A < B < C < D < E$ 라고 할 때, 나무토막 B, C, D의 최종 위치를 그리고 그 이유를 설명하시오.

물체와 물의 밀도를 크기 별로 나열 가능한 방법은 다음과 같이 총 7가지이다(① 물<B<C<D, ② B<물<C<D, ③ B<C<물<D, ④ B<C<D<물, ⑤ 물=B<C<D, ⑥ B<물=C<D, ⑦ B<C<물=D). 이 때, ①~④의 경우는 최종 위치가 정확하게 결정된다. 그러나 ⑤~⑦과 같이 유체와 밀도가 같은 물체의 경우는 고려하는 상호작용의 종류와 크기에 따라 물체의 최종 위치에 대한 다양한 해석이 가능하다. 문제풀이를 위해 고려해야 하는 상호작용은 물체와 바닥의, 물체와 유체의 상호작용의 2가지이다. 이와 같은 상호작용을 포함하여 유체와 밀도가 같은 물체의 최종 위치는 처음 운동 상태(또는 초기 위치), 유체와의 저항력, 그리고 바닥과의 반발계수에 따라 ‘유체에 완전히 잠긴’ 모든 위치가 가능하다.

문제1에서, 분석이 어려운 데이터와 부력을 잘 이해하지 못해 응답하기 어렵다는 10명(25%) 제외한, 30명의 예비 교사들의 응답을 분석하였다. 예비 교사들은 가능한 7개의 조건 중에서 ①과 ⑦을 제외한, 5가지 조건을 가정하여 최종 위치에 대해 응답했으며(②~⑥, 20명, 50%), 10명(25%)은 과학적으로 불가능한 최종 위치(L1, L2)로 답하였다. 연구자는 잘못된 배치를 물에 완전히 잠긴 물체에 대한 이해 부족(L1)과 물에 완전히 잠기지 않은 물체에 대한 이해 부족(L2)으로 다시 분류하였다(표 3.2).

표 3.2 문항 1에 대한 학생들의 응답 분포

분류	정답					오답		기타	총합
	밀도에 따른 배열*					L1**	L2**		
	②	③	④	⑤	⑥				
$N$ (%)	4 (10%)	4 (10%)	8 (20%)	1 (2.5%)	3 (7.5%)	7 (17.5%)	3 (7.5%)	10 (25%)	40 (100%)
부분합 $N$ (%)	16 (50%)			4 (10%)		10 (25%)		10 (25%)	

\*밀도에 따른 배열: ②  $B < \text{Water} < C < D$ , ③  $B < C < \text{Water} < D$ , ④  $B < C < D < \text{Water}$ ,

⑤  $\text{Water} = B < C < D$ , ⑥  $B < \text{Water} = C < D$

\*\*L1: 잠긴 물체에 대한 이해 부족 / L2: 떠 있는 물체에 대한 이해 부족

#### (1) 밀도의 크기 비교만으로 물체의 최종 위치 선택

물과 밀도가 같은 물체를 가정하지 않고 문제를 해결한 예비 교사들은 전체의 50%로(②~④), 그림 4.2와 같이 물체들을 배치하였다. 물과 밀도가 같은 물체를 가정한 경우(⑤, ⑥)는 10%로 상대적으로 적었는데, 유체와 물체의 밀도가 동일한 경우에는 물체의 최종 위치를 결정하기 위해 더 많은 변인을 고려해야 하기 때문이라고 판단된다.

② ~ ④의 조건을 선택한 예비 교사들은 두 가지 원칙으로 물체들을 배치하였다. 첫 번째 원칙은 물보다 밀도가 큰 물체들은 수조 바닥에 배치, 두 번째 원칙은 물보다 밀도가 작은 물체의 경우 밀도가 작은 물체를 더 높은 위치에 배치였다. 하지만 이 조건을 선택한 응답자들은 물과 물체의 밀도 비교만으로 물체의 ‘뜨거나 가라앉음’을 이해하였고, 부력을 이용하여 현상을 설명하지 않는 경우가 많았다. 이 조건에 해당하는 응답자들의 설명은 다음과 같다.

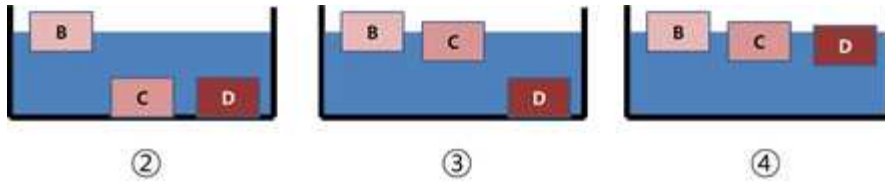


그림 3.2. 밀도 순서에 따른 올바른 물체 배치 I (②  $B < \text{물} < C < D$ , ③  $B < C < \text{물} < D$ , ④  $B < C < D < \text{물}$ ).

[학생12] 밀도는  $A < B < C < D < E$  순이나 물의 밀도와의 비교 정보는  $A < \text{물} < E$  밖에 알지 못하므로 B, C, D 중 **물의 밀도보다 큰 물체는 가라앉을 것이고 작은 물체는 떠오르게 된다.** 이 때 밀도가 물보다 작은 물체들 중 밀도가 큰 순으로 가라앉은 부분의 부피가 더 클 것이다.

[학생22] 물보다 밀도가 크면 가라앉게 되고 작으면 뜨게 되므로 물의 밀도가 높이에 따라 같다고 하면 물체의 **밀도가 물보다 큰 것은 끝까지 가라앉고 나머진 다 뜨게 된다.** 뜨는 것 중에서는 질량이 클 수록 부력이 커야 하므로 많이 잠기게 된다. (D부터 물보다 밀도가 크다고 가정)

\*( ) 안의 내용도 학생이 직접 기술

(2) 시스템에 작용하는 부력과 중력의 합으로 물체의 최종 위치 선택

한편, 물과 밀도가 같은 물체를 포함하여 물체들을 배치한 예비 교사는 전체의 10%였다. ⑤번 조건에 해당하는 배치는 2.5%, ⑥번 조건에 해당하는 배치는 7.5%였다(그림 3.3). ⑥번 조건에 해당하는 배치는 두 가지 형태가 나타났으며, 물체 C가 물의 중간에 나타나는 배치는 ⑥, 물체 C가 수면에 닿아 있는 경우는 ⑥'으로 표기하였다. 반면에 ⑦번 조건은 예비 교사들이 선택하지 않았다. 그리고 그림 3.3.과 같이 물체의 최종 위치를 선택한 응답자 4명 중 2명이 물과 밀도가 같은 물체를 가정하여 아래와 같이 설명하였다.

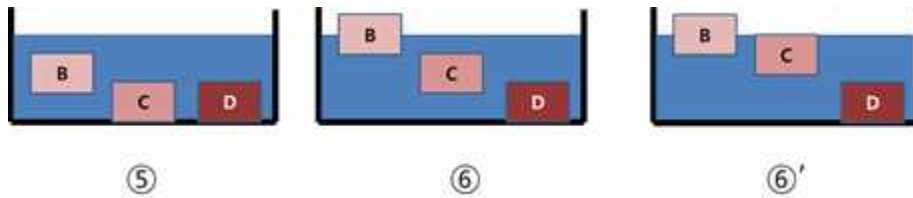


그림 3.3. 밀도 순서에 따른 올바른 물체 배치 II (⑤  $\text{Water} = B < C < D$ , ⑥  $B < \text{Water} = C < D$ ).

[학생 33] 부력은 그 물체가 차지하는 물에 작용하는 힘의 크기.

B는 물과 비슷해 보이므로 (색깔을 보았을 때) 물의 어디에 있든 부력과 중력이 평형을 이루고 C와 D는 중력이 더 크므로 밑에 가라앉아 수직 항력이 더해진다.

- ⑤ 배치

[학생 13] A는 아래쪽에 잠긴 만큼의 물의 중력만큼 부력을 받고 그것이 A의 중력과 같아 떠 있다. B는 중력이 커진 만큼 잠긴 부피도 커져서 평형이 유지된다. C는 이상적으로 물과 밀도가 같고 아무런 이동도 없는 경우에 가능한 상황이다. D, E는 물보다 밀도가 커서 가라앉는다(중력 > 부력). - ⑥ 배치

\*( ) 안의 내용도 학생이 직접 기술

### (3) 시스템에 작용하는 부력의 크기 계산의 오류

표 4.2에 제시한 것과 같이, 잘못된 배치를 선택한 10명의 응답은 물에 완전히 잠긴 상태에서의 위치 차이에 대한 이해 부족(L1, 17.5%), 물보다 밀도가 작은 물체들의 잠기는 부피의 차이에 대한 이해 부족(L2, 7.5%)으로 분류하였다(그림 3.4).

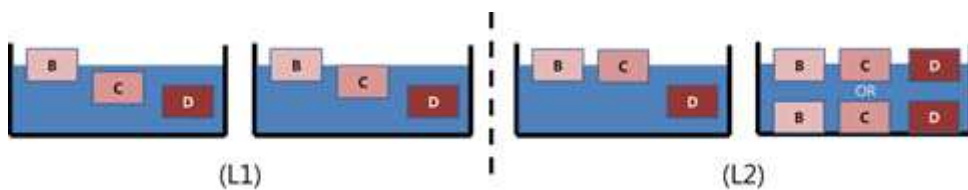


그림 3.4. 잘못된 물체 배치의 두 유형 (L1: 잠긴 물체에 대한 이해 부족 / L2: 떠 있는 물체에 대한 이해 부족)

그림 4.4의 L1은 두 물체 C, D가 물에 완전히 잠긴 채 다른 높이로 정지해 있다. 그러나 이와 같은 위치는 C, D의 밀도가 물과 같아야 하기 때문에, 문제에서 제시된 물체의 밀도가 서로 다르다는 전제 조건에 위배된다. 잘못된 최종 위치를 선택한 예비 교사들은 부력의 크기에 대한 이해와 운동 방정식에 적용에 어려움이 있었다.

첫 번째 오류에 해당하는 부력의 크기에 대한 이해 부족은 문항 전반에 걸쳐 나타나고 있다. 응답자들은 부력의 크기가 물체의 밀도와 비례한다고 설명하거나 부력을 전혀 적용하지 못하고 A와 E의 위치를 보고 상대적인 위치를 추정하였다. 응답자들의 설명은 다음과 같다.

[학생 23] 밀도는  $A < B < C < D < E$  순으로 부력(의 크기가)이 결정된다. 하지만 B, C, D의 위치는 알 수 없다.

[학생 29] 부피는 같고 질량이  $A < B < C < D < E$  이고 A는 가장 수면 쪽에 E는 바닥 쪽에 있으므로 B, C, D가 순서대로 나타날 것 같다.

[학생 38] **부력은 (물체의) 밀도에 비례**하는데, 밀도가  $A < B < C < D < E$ 이기 때문이다.

\*( ) 안의 내용도 학생이 직접 기술

두 번째는 운동방정식 적용의 오류이다. 부력을 잘 이해한 응답자의 경우에도, 완전히 잠긴 물체의 밀도가 클수록 중력이 더 크게 작용해서 ‘물에 완전히 잠기며’, ‘상대적으로’ 낮은 위치에 있다고 설명하였다. 이는 문제 적용 맥락의 변화에 따른 역학적 사고 적용의 어려움으로 분석된다. 이에 대한 응답자들의 설명은 다음과 같다.

[학생 10] 부력= $\rho g V$ 이다. 따라서 밀어낸 부피에 비례하게 된다. 따라서 물에 잠긴 부피가 같으면 부력은 같다. 따라서 **질량이 클수록 (물에 완전히 잠긴 채) 더 가라앉게** 된다.

[학생 30] 밀도가  $A < B < C < D < E$  순이다. 밀도가 클수록 물에 **(완전히 잠긴 채) 더 잘 가라앉는다**



[학생 36] 물체가  $mg$ 에 의해 더 힘을 많이 작용하고 부력은 (잠긴) 부피와 관계하므로 질량 순서대로 (물에 완전히 잠긴 채) 물 속 깊이 가라앉는다

### 3.3.2. 시스템 내부 물체의 초기 위치에 따른 최종 위치 선택

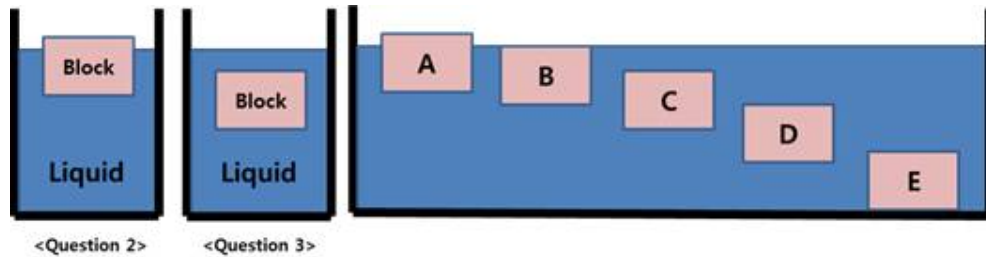


그림 3.5. 예비조사 [문항2]와 [문항 3]: 액체와 밀도가 같은 나무토막이 문항 2와 문항 3과 같이 서로 다른 처음 위치에서 놓아졌을 때, 물체의 최종 위치를 A~E 중에서 선택하고 그 이유를 설명하라.

문제 1에서 드러난 예비 교사들의 대표적인 어려움은 물과 밀도가 같은 물체의 최종 위치 결정이었다. 이러한 어려움은 물에 완전히 잠긴 상태에서 다양한 높이에 위치하는 물체의 차이를 설명하는 어려움과 연결된다. 이와 같은 어려움에 대해서 응답자는 다음과 같이 기술했다.

[학생 28] 중력과 부력이 평형을 이루는 위치에서 물체가 정지해 있을 텐데, 부력은 물체가 물에 잠겨있는 부분의 부피에 비례한다. (중략) 고민이 되는 것은 D가 완전히 물에 잠길지 여부인데 나무토막이 전체 잠겼을 때의 부력의 크기가 중력의 크기와 일치하도록 D의 무게가 정해진다면 물의 표면까지만 잠겨있을지 아니면 물의 중간까지 가라앉을지 아니면 E처럼 아예 가라앉을지 잘 모르겠다.

문제1에 대한 응답을 분석한 결과, 응답자들은 액체와 밀도가 같은 물체의 최종 위치를 특정 위치로 생각하였다. 특정 위치는 물에 ‘완전히 잠긴 채’ 물의 표면, 정중앙, 수조의 바닥이었고, 이유에 대해서는 정확히

설명하지 않았다. 따라서 연구자는 물체의 초기 위치, 즉 초기 운동을 다르게 한 물체를 제시하여(문제2와 문제3), 각각의 최종 위치와 이유를 설명하도록 하였다(그림 3.5).

표 3.3 문항 2와 3에 대한 학생들의 응답 수 (%)

최종위치	A	B	C	D	E	복수 응답	총합
문항2	4(10%)	16(40%)	1(2.5%)	3(7.5%)	10(25%)	6(15%)	40(100%)
문항 3	1(2.5%)	4(10%)	26(65%)	3(7.5%)	4(10%)	2(5%)	40(100%)
총합	5(6.25%)	20(25%)	27(33.8%)	6(7.5%)	14(17.5%)	8(10%)	80(100%)

문제2에 대한 응답은 물체가 수면에 닿은 채 완전히 잠긴 위치인 B가 40%, 물체가 수조 바닥에 닿아 있는 E가 25% 순이었다. 물 속에 위치하며 수면이나 바닥에 닿아 있지 않은 위치는 C(2.5%), D(7.5%)로 상대적으로 적었다. 그리고 과학적으로 옳은 답에 해당하는 다양한 위치가 가능하다는 응답은 15%였다. 반면에 문제3의 경우, 과학적으로 옳은 답에 해당하는 C를 최종 위치로 선택한 응답자들이 전체의 65%로 가장 많았다. 그리고 수면에 물체의 윗부분이 닿은 위치는 10%, 수조의 바닥에 닿은 위치는 10%로 전체의 20%가 수면이나 바닥에 닿아 있는 최종 위치를 선택했다.

물체의 최종 위치에 대한 응답은 다음과 같이 3가지 유형으로 분류할 수 있었다. 첫째는 부력과 중력이 합이 0이 되는 순간 정지한다는 유형, 둘째는 직관적으로 특정 위치를 지칭하는 유형, 셋째는 다양한 위치가 가능하다고 설명한 유형이다(표 3.4).

표 3.4 문항 2와 3에서 나타난 학생들의 설명 유형

단위: N(%)

문항	중력=부력이면 물체가 즉시 정지	특정 위치에서 정지		다양한 위치 가능	기타
		유체 정중앙	유체의 바닥		
문항2	16(40%)	5(12.5%)	8(20%)	7(17.5%)*	4(10%)
문항3	26(65%)*	3(7.5%)	4(10%)	2(5%)	5(12.5%)
총합	42(52.5%)	8(10%)	12(15%)	9(11.25%)	9(11.25%)

과학적으로 설명한 응답 (\*)

- (1) 시스템의 총 에너지 차에 대한 인식 부족과 상호작용의 일부만 고려한 최종 위치 선택

물과 물체의 밀도가 동일할 때, 물체가 물에 완전히 잠기면 물체에 작용하는 부력과 중력의 크기가 같고 방향이 서로 반대이므로 정지한다는 설명에 해당하는 유형이다. 이 유형의 응답자들은 문제2에서는 물에 완전히 잠기는 순간인 B, 문제3에서는 처음 위치인 C를 최종 위치로 이해했다(표 3.4). 해당 유형의 응답은 물체의 운동에 영향을 미치는 상호작용을 부력과 중력만 고려하였다. 물체와 유체의 상호작용은 물체의 윗면과 아랫면에 작용하는 압력의 크기의 차에 의한 부력과 함께 유체의 점성에 의한 쓸림힘의 2가지이다. 유형 1의 응답은 물체와 유체의 상호작용의 일부만 이해한 경우이다. 유형1을 선택한 예비 교사들의 설명은 다음과 같다.

[학생1] 밀도가 같으니까 휘젓지 않는 이상 아래로 갈 이유가 없다.

[학생17] (최종 위치는) 합력이 0이어야 하기 때문에 오랜 시간이 흐르면 (부력과 중력이 같은 순간인) B 위치에 있을 것이다.

\*( ) 안의 내용도 학생이 직접 기술

유형 1은 문제2와 3에서 각각 40%, 65%가 해당되며, 전체 응답의 52.5%가 부력과 중력의 크기 비교로만 물체의 최종 위치를 결정하였다. 또한 문제2에서 유형1에 해당하는 예비 교사들은 문제3에서도 같은 유형의 설명을 반복하는 경향이 가장 컸다.

(2) 직관적으로 특정 위치(정중앙 또는 바닥)를 지칭하는 경우

예비 교사들은 직관적으로 물체의 위치를 물의 정중앙 또는 바닥으로 응답하는 경향을 보였다. 물체가 물의 정중앙에 위치하면 정지한다고 이해한 예비 교사들의 설명은 다음과 같다.

*[학생8] 물체 윗부분을 누르는 액체의 높이에 해당하는 중력을 받고, 그 아래 부분의 물의 부력의 힘을 받는다. 거기에 물체에 작용하는 중력까지 합하면 D 위치에 있을 것 같다.*

*[학생11] 액체와 밀도가 같기 때문에 오랜 시간이 지난 후에 수조의 가운데에 (사방에서 받는 액체의 압력이 동일해져서) 위치할 것 같습니다.*

*\*( ) 안의 내용도 학생이 직접 기술*

학생8은 물체에 작용하는 부력과 압력을 혼동하였는데, 물체 윗면에 작용하는 물의 무게를 중력, 물체의 아랫면에 작용하는 힘을 부력이라 생각했다. 이와 같은 설명의 오류는 물체에 작용하는 힘의 차가 부력이라는 개념에 대한 이해 부족하고, 압력을 힘과 같은 차원으로 이해했기 때문이다. 또한 학생11은 물체가 물의 정중앙에 위치할 때 모든 면에 동일한 압력이 작용하고, 그로 인해 발생한 힘의 평형을 이뤄 물체가 정지한다고 설명했다. 이는 물체에 윗면과 아래에 작용하는 압력의 크기에 대한 부정확한 이해로 인한 오류이다. 즉, 정중앙의 위치를 선택한 응답

자들은 부력과 압력의 개념을 혼동하거나 압력을 잘못 이해하였다.

또한 물체가 ‘바닥에 닿는 순간 정지한다’는 응답은 전체의 15%로, 문제2와 3에서 각각 20%, 10%에 해당된다. 이와 같은 예비 교사들의 대표적인 설명은 다음과 같다.

[학생2] 손을 놓을 경우 중력이 부력보다 커 가라앉게 되고, B에서 중력과 부력이 같다. 그러나 B에서 속도가 아래 방향으로 존재하기 때문에 계속 가라앉아 E에 균형이 성립된다.

[학생13] 물체가 물 밖에 나와 있을 때는 중력이 부력보다 크므로 아래로 가속 운동을 하고 표면에서 완전히 잠기는 순간부터 중력과 부력이 같으므로 등속으로 가라 앉는다.

[학생28] 물체의 중력과 부력이 같아지기 위해서는 A에서 B으로 이동하는 것은 분명하다. 그러나 힘이 평형을 이루었음에도 초기에 A에서 B으로 운동하는 속도가 존재하므로 관성에 의해 E(바닥)까지 이동할 것 같다.

예비 교사들은 물체가 아래 방향으로 이동하다가 바닥에 닿았을 때, 추가적인 설명 없이 정지한다고 설명했다. 응답자들은 수조 바닥과 충돌한 후 물체의 운동에 대한 고려를 하지 않는 경향이 나타났다. 즉, 해당 응답자들은 물 속에서의 물체의 운동 과정에서 발생하는 충돌을 완전 비탄성 충돌로 이해했으며, 유체와의 쓸림힘을 고려하지 않았다. 또한 수조 바닥에서 균형이 성립하기 때문에 바닥에서 멈출 것이라는 의미가 모호한 표현도 사용되었다.

### (3) 시스템에 작용하는 상호작용의 다양성을 고려한 최종 위치 선택

물체의 최종 위치를 한 가지로 응답하지 않고, 변인들에 따른 다양한 형태를 선택한 응답은 전체의 11.25%로 문제2와 3에서 각각 17.5%와 5%였다. 다양한 최종 위치가 가능하다는 설명은 문제3에 적합하지 않지

만, 일부의 예비 교사들은 같은 방식으로 설명하였다. 설명에서 사용된 변인들은 물체와 액체와의 마찰, 초기 위치에 따른 운동상태였으나, 바닥과의 반발계수를 고려한 설명은 소수였다. 즉, 물체의 최종 위치를 밀도에 따른 부력에 한정하지 않고, 고려하는 변수들의 종류와 크기의 조합에 따라 B~E의 위치가 모두 가능하다고 설명하였다. 이 유형의 응답은 물체와 유체와의 상호작용을 모두 고려한 과학적인 응답에 해당한다.

[학생16] 물체와 액체의 밀도가 같을 때, 액체에 완전히 잠기면  
합력은 0이다 따라서 초기조건에 따라서(액체와의 마찰과  
초기 낙하 위치 때문에) 최종적인 위치는 C, D 혹은  
극단적인 경우 B, E의 경우도 가능하다.

\*( ) 안의 내용도 학생이 직접 기술

### 3.4. 결론 및 시사점

본 연구는 서울 소재 사범대학의 물리 전공 예비 교사들의 부력에 대한 이해를 조사하기 위해 진행되었다. 설문은 총 3문항으로, 밀도가 다른 물체의 최종 위치, 액체와 밀도가 같은 물체의 초기 위치에 따른 최종 위치를 묻는 문항으로 구성되었다. 각 문항은 개방형 문항으로 개발되었으며, 부력에 대한 개념 이외에도 압력, 밀도, 그리고 운동방정식의 적용에 대한 예비 교사들의 이해도 확인할 수 있었다.

밀도가 다른 물체의 최종 위치에 대한 문항에서, 예비 교사들은 물에서 물체가 갖는 최종 위치에 대해 다음과 같은 특징이 나타났다. 물체와 물의 밀도 설정이 자유로운 경우, 물과 물체의 밀도를 다르게 가정하여 물체를 배치하는 비율이 높았다. 또한 다른 밀도를 갖는 물체들이 유체에 완전히 잠긴 상태에서 다른 높이에 위치하거나, 유체보다 밀도가 작은 물체가 유체 위에서 동일한 높이에 위치하는 잘못된 설명을 하였다. 이

와 같은 어려움은 물과 밀도가 같은 물체의 최종 위치가 다양하기 때문에 발생한다. 이는 학생들이 뜨고 가라앉는 개념에 대해 부정확한 개념을 갖고 있으며, 과학적으로 현상을 설명하는 데 어려움을 갖고 있다는 선행 연구와 유사한 결과가 나타났다(Stepans et al., 1988; Howe et al., 1990; McKinnon & Renner, 1971; McDermotte, 1996; Heron et al., 2003; Loverude, 2009). 그러나 기존 연구에서는 특정 위치에서 물체에 작용하는 물리적 힘의 크기에 초점을 두었기 때문에, 학생들이 물체의 최종 위치를 결정하는 과정적 이해와 어려움을 확인하기에 부족함이 있었다. 따라서 연구자는 이를 확인하기 위해 유체와 밀도가 같은 물체의 초기 위치를 다르게 하여 정지상태에서 낙하시키는 문항을 제시하였다.

분석 결과에 따르면, 첫째 예비 교사들은 중력과 부력이 동일하면 즉시 정지한다는 유형의 설명을 선호하며, 가장 일관되게 나타났다. 그러나 예비 교사들은 물체가 운동하고 있어도 중력과 부력이 같으면 즉시 정지한다는 잘못된 설명을 하였다. 둘째, 예비 교사들은 물의 특정 위치인 정중앙 또는 바닥을 물체의 최종 위치로 생각하였다. 그들은 물의 정중앙에서 물체에 작용하는 힘이 평형을 이룬다고 설명하거나 바닥과의 충돌을 완전 비탄성 충돌로 설명하였다. 예비 교사들은 유체 내부의 압력의 크기에 대한 이해가 부족하였으며, 문제에 구체적인 조건이 없을 때 변인을 단순화시켜 적용하였다. 셋째, 다양한 최종 위치가 가능하다고 설명한 예비 교사들은, 물체와 유체간의 쓸림힘의 크기와 바닥과의 탄성계수를 고려하여 최종 위치가 다양하게 결정될 수 있다고 설명하였다. 마지막으로 42.5%의 연구 참여자들은 초기 위치가 변하여도 설명을 일관되게 유지했으며, 중력과 부력이 같으면 즉시 정지, 특정 위치에서 정지, 다양한 위치가 가능 순으로 나타났다. 반면, 각 문항을 과학적으로 응답한 예비 교사는 전체의 15%였다. 즉, 연구 참여자들은 문제 풀이 과정에

서 일관된 설명 유형을 고수하려는 경향이 더 컸는데, 예비 교사들에게는 논리의 일관성보다는 상황에 따른 변인의 조작과 적용에 대한 체계적인 학습이 요구된다.

이처럼 예비교사들은 유체로 구성된 시스템에 작용하는 상호작용을 통해 물체의 최종 위치를 이해하는 문제에서 어려움이 나타났다. 이는 학생들이 다수의 유체 분자로 구성된 시스템에서 최종 운동에 영향을 미치는 요인들의 추출과 상호작용을 고려한 시스템의 물리적 상태 해석의 어려움 때문이었다.

이를 토대로 본 연구에서는 물리적 현상을 이해하기 위해 필요한 조건을 제안하기 위한 후속연구를 수행하였다. 본 연구에서는 예비연구를 보완하여 예비교사들의 시스템에 대한 인식과 문제풀이에서의 시스템의 경계 선택을 추가하여 조사하였다.



## 4. 본연구: 시스템 개념에 대한 예비교사의 인식과 문제풀이의 시스템적 이해<sup>2)</sup>

### 4.1. 연구의 필요성 및 목적

교과의 구조를 중심으로 조직화된 지식요소의 활용은 교수-학습에서 다음과 같은 이유로 강조되어 왔다 (이홍우, 1987; 권재술 등 2012; 김보경, 2012). 첫째, 기본 개념 중심으로 학습함으로써 교과를 더 쉽게 이해할 수 있다. 둘째, 소수의 개념을 중심으로 교과를 이해할 수 있기 때문에 학습이 경제적이다. 셋째, 기본 개념을 중심으로 교수-학습을 진행할 수 있기 때문에 효율적이다. 넷째, 초보자와 전문가의 지식 사이의 비교를 통해 학습의 연계성을 도모할 수 있다.

과학교육에서도 단편적인 개념학습에 대한 지적이 계속되어 왔다 (National Research Council, 1996, 2011; 방담이 등, 2013; 이윤하 등, 2014). 여러 교과의 과학개념들 사이의 연계성을 통해 통합적인 사고의 필요성과 다른 개념들과 긴밀히 연관되어 있는 주요 개념을 중심으로 한 학습의 필요성이 제기되고 있다 (National Research Council, 1996, 2011). 시스템은 공통개념 또는 빅 아이디어로서 제시되고 있는 대표적인 개념으로 제안되고 있다 ((The American Association for the Advancement of Science, 1989, 1993, 2001; National Research Council,

---

2) 이 장의 주요 내용은 ‘지영래, 정용욱, 송진웅. (2016). 역학의 보존법칙 문제풀이 과정에서 나타난 대학생들의 계에 대한 이해의 특징 분석’으로 새물리에 게재가 확정된 내용이 포함되어 있다. 해당 논문에서는 예비교사들의 시스템에 대한 인식과 운동량 보존법칙과 역학적에너지 보존법칙의 이해 및 적용에 대한 분석이 포함되어 있다.

1996, 2011; Achieve, 2013)

시스템은 다음과 같은 이유로 교수-학습에서 강조되고 있다. 첫째, 과학자들은 연구 목적에 맞는 시스템을 규정함으로써 연구의 편의성을 향상시킬 수 있다. 실제로 상당수의 연구자들은 이상적으로 고립된 시스템을 사용하여 연구를 설계하고 결과를 해석한다 (National Research Council, 2012). 둘째, 시스템은 물리학을 넘어 여러 교과와 과학개념들 사이의 연결고리 역할을 한다. 특히 시스템은 과학의 주요 개념인 에너지, 물질, 구조, 기능, 안정성, 변화 등과 긴밀히 연관되어 학생의 과학개념 발달에 도움을 준다 (National Research Council, 2012). 셋째, 학생들은 개념을 시스템을 중심으로 학습함으로써 통합적 사고 기술을 습득할 수 있다 (National Research Council, 1996).

시스템의 과학교육적 역할에 대한 위상은 점차 증가하여 해외에서는 국가 과학 교육과정 수립을 위한 기준(standards) 또는 실제 과학 교육과정의 핵심개념으로 채택되고 있다. 싱가포르의 중등 과학 교육과정에서 ‘모형과 시스템(models and system)’을 여섯 가지 주제(theme)의 하나로 선정하였으며, 캐나다 온타리오 주는 ‘시스템과 상호작용(systems and interactions)’을 여섯 가지 본질적 개념(fundamental concept)의 하나로 제시하였다. 미국도 차세대 과학교육표준(Next Generation Science Standards)에서 ‘시스템과 시스템의 모델(systems and system models)’을 일곱 가지 관통개념(crosscutting concepts)의 하나로 제시하였다 (National Research Council, 2012). 하지만 이러한 국외의 과학 교육과정에 제시된 시스템은 과학 전반에 대한 통합적 기능이 강조되어 물리학 내에서 시스템의 교육적 기능과 학습목표는 상대적으로 잘 드러나지 않았다.

선행연구들은 시스템이 물리학의 다양한 영역들에서 서로 다른 개념들과 긴밀히 연계된 개념으로서 물리학습에서 강조되어야 함을 제안하였다. 김은경 등 (2010)은 일과 에너지 등의 개념들이 시스템과 긴밀히 관련되어 있으며 특히 에너지, 운동량, 전하량, 질량보존법칙 등의 적용과 이해를 위해서 시스템의 학습이 필요함을 강조했다. Kohnle 등(2015)은 양자현상 학습에서 추상적이고 이상화된 시스템에 대한 학습이 양자역학 개념 이해의 기초라고 설명하였다. Samiullah (2007)은 열역학의 가역과정에서 엔트로피 보존에서 고립계에 대한 이해를 강조했으며, 이주현 등 (2013)은 비가역 단열과정에서 시스템의 최종상태에 대한 과학고 학생들의 이해를 탐색하였다. 정용욱 등 (2011)은 물리학의 동역학 관계식을 시스템을 포함한 존재론적 분석틀로 에너지 보존과 전환에 대한 학습의 시사점을 제안하였다. 이러한 시스템과 관련된 다양한 선행연구들에도 불구하고, 문제 해결 과정에서 학생들이 시스템의 구성요소를 선택하고 시스템과 주위의 경계를 규정하는 방식(how)과 그 이유(why)를 토대로 물리 법칙 및 개념의 이해를 다룬 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구는 사범대학 물리 전공 학부생들의 보존법칙 적용을 시스템을 중심으로 살펴보았다. 이를 위해 먼저 그들이 정의하는 시스템을 핵심단어를 중심으로 분석하였다. 그리고 운동량 보존법칙과 역학적 보존법칙이 적용되기 위한 조건을 분석하고 이를 시스템을 중심으로 논의하였다. 또한 예비교사들이 시스템을 경계로 작용하는 힘, 일, 열에 대한 이해를 시스템과 관련하여 분석하였다. 이와 같은 연구결과를 토대로 시스템을 중심으로 한 보존법칙 학습에 대한 시사점과 교육적 의의에 대해 논의하고자 한다.

## 4.2. 연구 대상 및 조사 내용

### 4.2.1. 연구대상

본 연구는 서울 소재 사범대학에서 물리교육을 전공하는 학부생을 대상으로 진행되었다. 설문은 2014년 11월 말에서 12월 초에 총 4회에 걸쳐 실시되었으며, 참여자들은 모두 일반 물리학 수준 이상의 물리학 강좌를 수강한 학부생을 63명을 대상으로 하였다. 설문지 A의 경우 일반 물리학만을 이수한 학생은 7명, 일반물리학과 역학을 이수한 학생은 19명, 일반물리학과 역학 그리고 열통계학을 이수한 학생은 4명이었다. 설문지 B의 경우 일반물리학만을 이수한 학생은 10명, 일반물리학과 역학을 이수한 학생은 19명, 일반물리학과 역학 그리고 열통계학을 이수한 학생은 4명이었다. 또한 설문에 참여한 학생 6명을 선정하여 2015년 7월에서 8월 사이에 약 60분에 걸쳐 심층면담을 실시하였다.

표 4.1. 설문 참여 학생의 기본 정보

이수과목	설문지 A	설문지 B
일반물리학	7	10
일반물리학, 역학	19	19
일반물리학, 역학, 열통계학	4	4
총합	30	33

자료를 수집하기에 앞서 연구 참여자에게 연구윤리에 관련된 사항을 [부록3]의 연구참여자용 설명서 및 동의서의 내용을 토대로 설명하였다.

이후 연구에 참여하는 학생들은 동의서에 서명을 받았다.

자료 수집 절차는 두 단계로 진행되었다. 먼저 시스템에 대한 인식과 보존법칙 문제풀이에 대한 학생들의 이해를 조사하기 위하여 개방형 설문지를 투입하고 구체적으로 작성하도록 하였다. 이후 설문지의 응답을 바탕으로 설문의 내용에 대한 반 구조화된 개별 면담을 실시하였다. 설문지의 개발 절차는 ‘4.2.2. 설문지 개발’에서 자세히 제시하였다.

면담을 위해 설문에 참여한 학생들 중 시스템에 대한 인식이 두드러진 차이가 나타난 후보자를 선정하였다. 면담은 해당 후보자들에게 참여 의사를 묻고 면담에 참여 의사를 밝힌 6명을 대상으로 실시하였다. 면담은 개인별로 약 60분에 걸쳐 실시되었다. 설문과 면담은 약 8개월의 시간 간격을 두고 진행되었기 때문에 설문 내용을 통한 학습의 영향을 고려하지 않았다. 면담은 녹음, 전사되었으며 면담 과정에서 연구자는 참여자의 설명을 메모지에 기록하여 참여자가 의도를 확인하는 과정을 수행하였다. 피면담자는 연구자가 기록한 내용을 반복하여 확인하는 과정을 통해 자신의 의도와 다른 경우 수정하거나 자신의 설명을 다시 진술하였다. 본 연구에서는 연구 참여자의 인권 보호를 위해 가명을 사용하였다.

#### 4.2.2. 설문지 개발

설문지는 2개의 세트로 개발되었다 (표 4.2.와 4.3.). 설문지 A와 B는 시스템에 대한 인식을 조사하기 위해 시스템의 정의와 분류 기준을 공통 문항으로 제시하였다. 설문지 A와 B는 고립계와 비고립계에서의 보존법칙 문제풀이로 분류된다.

설문지 A는 역학의 보존법칙인 운동량 보존법칙, 각운동량 보존법칙,

역학적에너지 보존법칙에 관한 내용으로 구성되었다. 문제풀이에 앞서 학생들에게 각 보존법칙이 적용되기 위한 조건을 기술하도록 요구하였다. 이후 문제풀이 과정에서 시스템 사용 여부를 묻고 시스템을 사용하거나 사용하지 않은 이유를 설명하도록 요구하였다. 또한 시스템을 선택하고 문제를 푼 경우 시스템의 구성요소를 선택하도록 하고 학생들이 생각하는 시스템의 선택 기준을 분석하였다. 마지막으로 역학의 고립계에서 적용되는 보존법칙에서 중요한 개념인 내력과 외력의 분류 기준을 설명하도록 요구하였다.

설문지 B는 비고립계에서 적용되는 보존법칙인 열역학 제 1법칙과 베르누이 법칙에 관한 내용으로 구성되었다. 설문지 A와 마찬가지로 문제풀이에 앞서 학생들에게 각 보존법칙이 적용되기 위한 조건을 기술하도록 요구하였다. 또한 외력이 작용하는 단열과 비단열 시스템의 내부에너지 변화를 역학적에너지 변화와 비교하도록 하였다. 마지막으로 베르누이 법칙에 대한 문제는 정해진 시스템을 제공하고, 시스템의 양 단면에서 작용하는 압력과 일의 크기를 비교하도록 하였다.

표 4.2. 설문지 A의 범주와 세부 문항

대범주	하위범주	세부 문항
시스템	정의	과학에서 시스템 또는 시스템의 정의는 무엇인가?
	분류기준	시스템의 분류기준은 무엇인가?
보존법칙 전제조건	선운동량	선운동량 보존법칙의 전제조건은 무엇인가?
	각운동량	각운동량 보존법칙의 전제조건은 무엇인가?
	역학적에너지	역학적에너지 보존법칙의 전제조건은 무엇인가?
내력과 외력	분류기준	내력과 외력의 분류기준은 무엇인가?
	분류의 필요성	내력과 외력을 분류해야 하는 이유는 무엇인가?
문제풀이	시스템의 선택	문제풀이에서 규정한 시스템의 구성요소는 무엇인가?
	시스템을 선택한 이유	문제풀이에서 시스템을 그렇게 규정한 이유는 무엇인가?

표 4.3. 설문지 B의 범주와 세부 문항

대범주	하위범주	세부 문항
시스템	정의	과학에서 시스템 또는 시스템의 정의는 무엇인가?
	분류기준	시스템의 분류기준은 무엇인가?
보존법칙 전제조건	열역학 제 1법칙	열역학 제 1법칙의 전제조건은 무엇인가?
	베르누이 법칙	베르누이 법칙의 전제조건은 무엇인가?
시스템 내부의 에너지 비교	분류기준	역학적 일과 열역학적 일의 정의는 무엇인가?
	에너지	고립계와 닫힌계에서의 에너지 변화는 어떠한가?
문제풀이	내부에너지	단열계와 비단열계에서의 내부에너지 변화는 어떠한가?
	자유팽창	자유팽창 과정에서의 열역학적 일은 어떠한가?
	압력과 일	면적이 다른 두 단면에 작용하는 압력과 일의 크기는 어떠한가?

## 4.3. 연구 결과 및 논의

### 4.3.1. 예비교사의 시스템 이해

#### (1) 핵심어를 중심으로 살펴본 시스템에 대한 인식

시스템에 대한 예비교사들의 기초 지식을 확인하기 위하여 ‘과학에서 사용되는 시스템의 정의’에 대한 예비교사들의 서술형 응답을 분석하였다. 이를 위해 예비교사의 응답과 관련되는 핵심어를 귀납적으로 추출한 후에 예비교사들의 응답을 범주화하였다. 그 결과 예비교사들은 ‘공간



(space)', '물질과 에너지(matter & energy)', '상호작용(interaction)', '관찰(observation)'을 핵심어로 사용하여 시스템을 규정하는 특징을 보였다. 이를테면 “어떤 법칙이 적용하는 공간”이라는 예비교사의 응답에서 ‘공간’이라는 핵심어를 추출하였다. 한 응답에서 둘 이상의 핵심어가 추출되기도 하였다. 이를테면 “에너지와 물체가 존재하는 독립적 공간”이라는 응답에서는 핵심어로 ‘물질과 에너지’와 ‘공간’이 추출되었다. 또한 “물리적 상호작용이 일어나는 공간”이라는 응답에서는 ‘상호작용’과 ‘공간’이 추출되었다. 한편 “관측자가 관심 있게 본 대상들을 묶은 개념”이라는 응답에서는 ‘에너지와 물질’, ‘관찰’이 추출되었다.

추출된 핵심어를 바탕으로 개별 예비교사들이 시스템의 정의에서 사용된 핵심어의 조합을 범주화하여 나타낸 결과는 표 4.3의 오른쪽과 같다. 예비교사들은 2가지 핵심어의 조합과 관련하여 시스템을 규정하는 빈도(43.3%)가 가장 높았으며, 구체적으로는 ‘공간+물질과 에너지’, ‘공간+상호작용’, ‘공간+관찰’, ‘물질과 에너지+관찰’의 조합이 나타났다. 예비교사들이 제시한 계의 규정은 한가지의 핵심어에만 관련되기도 하였으며 (20.0%) 이 때 관련된 핵심어는 ‘공간’과 ‘물질과 에너지’였다. 3가지 이상의 핵심어(공간+물질과 에너지+관찰)와 관련하여 시스템을 규정한 응답도 있었다.

추출된 핵심어를 바탕으로 예비교사들의 응답을 중복으로 세어서 응답빈도를 구한 결과 시스템을 공간(31.1%)과 관련하여 규정하려는 경향이 가장 컸으며, 물질과 에너지(24.4%), 관찰(13.3%), 상호작용(8.9%)의 순으로 응답빈도가 낮아졌다.

표 4.4 과학에서의 시스템에 대한 예비교사들의 정의

시스템에 대한 설명에서의 핵심어			핵심어의 조합으로 설명		
범주	응답 수	%	범주	응답 수	%
공간 (S)	14	31.1	S+ME	4	13.3
물질과 에너지 (ME)	11	24.4	S	4	13.3
관찰(O)	6	13.3	ME+O	3	10
상호작용 (I)	4	8.9	S+I	3	10
기타	1	2.2	S+O	2	6.7
무응답	9	20.0	ME	2	6.7
			ME+I	1	3.3
			S+ME+O	1	3.3
			기타	1	3.3
			무응답	9	30.0
총합	45#	100.0	총합	30	100.0

- 예비교사들의 응답을 중복체크 하였음.

시스템의 규정에 대한 예비교사들의 응답을 보다 분석적으로 탐색하기 위해 본 연구는 교육과정 문건 등 시스템에 대한 이론적 논의를 다룬 기존 문헌들의 계에 대한 규정을 조사하였다. 예를 들어 Bertalanffy(1950)는 시스템을 ‘상호작용하는 요소들의 복합체’로, National Research Council(2012)는 ‘관련이 있는 물체나 전체를 이루는 요소들로 구성된 그룹’으로 정의하였다. 이러한 정의들로부터 시스템의 정의와 관련된 핵심어를 추출한 결과는 표 4.4와 같다. 즉 기존의 문헌들에서 시스템은 상호작용, 부분(혹은 요소), 집합, 기능이라는 핵심어와 관련되어 정의되었다.

이러한 문헌분석과 시스템의 정의에 대한 예비교사들의 응답을 비교한 결과, 다음과 같은 특징이 도출되었다. 첫째, 많은 예비교사들이 (31.1%) 시스템을 공간(space)과 관련하여 설명한 반면, 기존의 문헌들에서는 시스템을 정의할 때 공간이 중요하게 부각되지 않았다. 둘째, 문헌들에서는 최근의 교육과정 문서들을 중심으로 시스템의 전체로서의 기능(function)에 대한 이해가 강조되는 반면, 예비교사들은 시스템의 기능과 관련한 언급을 하지 않았다. 이를테면 The American Association for the Advancement of Science(1993)는 시스템을 “임의의 기능을 수행하기 위해 상호작용하는 사물과 과정의 집합체”로 정의하며 기능과 관련된 창발성(emergent property)에 대한 이해를 강조하였지만, 예비교사들의 시스템에 대한 규정에서 기능에 대한 논의는 발견되지 않았다. 결과적으로 예비교사들의 시스템에 대한 규정은 문헌들의 규정과 상당히 다른 양상을 보였다.

표 4.5 선행연구에서의 시스템의 정의

Source	Interaction	Parts	Group	Function
Von Bertalanffy (1968)	O	O	O	
Krammer & Smith (1977)	O	O	O	
Science for All Americans (AAAS, 1989)	O	O	O	
Benchmarks for Science Literacy (AAAS, 1993)	O	O	O	O
National Science Education Standards (NRC, 1996)	O	O	O	
Kali et al. (2003)	O	O		
International Technology Education Association (2007)	O	O	O	O
A Framework for K-12 Science Education (NRC, 2011)	O	O	O	O

한편 시스템의 분류와 관련한 학생의 이해를 조사하기 위해 고립계, 닫힌계, 열린계의 정의에 대한 학생의 응답을 분석하였다. 고립계, 닫힌계, 열린계는 각각 주위와 물질 및 에너지의 교환이 없는 시스템, 주위와 에너지는 교환하지만 물질은 교환하지 않는 시스템, 주위와 물질과 에너지를 모두 교환하는 시스템을 말한다. 학생들의 답변으로부터 범주를 추출하는 예시는 다음과 같다. 예를 들어 고립계에 대해 “외부와 어떤 상호작용도 없는 시스템”으로 설명한 학생의 응답에서 ‘주위와 상호작용 없음’ 범주를 “외부와 에너지 출입 없고 물질의 출입도 없는 시스템”이라는 응답에서 ‘에너지와 물질의 이동 없음’ 범주를 추출하였다. 또한 닫힌계를 “외부와 상호작용 없음”으로 설명한 응답에서 ‘외부와 상호작용 없음’ 범주를 “에너지의 교환은 일어날 수 있고 물질의 교환은 일어날 수 없는 시스템”은 ‘주위와 에너지 교환되지만 물질의 교환은 없음’ 범주를 추출하였다. 마지막으로 열린계에 대한 “에너지, 물질 모두 통과가 가능한 시스템“, “에너지, 물질 모두 교환이 일어날 수 있는 시스템”이라는 응답에서 ‘주위와 에너지, 물질 교환’을 추출하였다. 고립계, 닫힌계, 열린계의 정의에 대한 학생의 응답을 범주화한 결과는 표 4.6과 같다.

우선 열린계, 고립계, 닫힌계에 대한 과학적 응답률은 30% 이하로 낮았으며, 과학적 응답률은 열린계(30.0%) > 고립계 = 닫힌계(26.7%) 순으로 나타났다. 이러한 학생들의 낮은 정답률은 상호작용의 양상에 대한 세분화된 이해의 부족과 관련되는 것으로 해석될 수 있다. 과학적 의미의 고립계, 닫힌계, 열린계는 물질과 에너지의 교환을 모두 고려할 때 온전히 구별될 수 있다. 그런데 학생들은 이들 시스템을 정의할 때 물질과 에너지의 교환을 모두 고려하는 대신에 에너지 교환만을 따지거나, 단순히 주위와의 상호작용 여부를 바탕으로 정의하는 경우가 많았다. 실제로 물질과 에너지의 교환을 모두 고려한 학생들은 대부분 열린계, 고립계,

단히계를 정확히 정의하였다. 반면에 두 가지 종류의 상호작용을 고려하지 못한 학생들은 대부분 이들 계에 대해 잘못된 정의를 제시하였다.

표 4.6 시스템의 유형에 따른 예비교사들의 정의 N(%)

범주		고립계	단히계	열린계
주위와의 에너지 교환	가능	0(0)	2(6.7)	3(10.0)
	불가능	5(16.7)	1(3.3)	0(0)
주위와 에너지와 물질 교환	가능	0(0)	0(0)	9(30.0)*
	불가능	8(26.7)*	1(3.3)	0(0)
주위와 에너지 교환 가능, 물질 교환 불가능		1(3.3)	8(26.7)*	1(3.3)
주위와의 상호작용	가능	0(0)	0(0)	5(16.7)
	불가능	4(13.3)	4(13.3)	0(0)
Etc.		4(13.3)	3(10.0)	2(6.7)
No response		8(26.7)	11(36.7)	10(33.3)
Total		30(100.0)	30(100.0)	30(100.0)

\* 과학적 개념

#### 4.3.2. 시스템에 기반한 예비교사의 문제풀이 과정 분석

##### (1) 보존법칙의 성립조건에 대한 응답 분석

본 연구에서는 선운동량 보존, 각운동량 보존, 역학적 에너지 보존, 열역학 제 1법칙이 적용되는 일반적인 조건을 물어서 학생의 응답을 조사하였다. 먼저 ‘선운동량 보존법칙’과 ‘각운동량 보존법칙’이 적용되는 조건에 대한 학생들의 응답을 범주화하여 분석한 결과는 표 4.7과 같다. 선운동량 보존이 성립하는 조건에 대한 학생들의 응답은 크게 힘과 관련된 서술(25건), 에너지 관련 서술(3건), 기타(3건) 등으로 구분되었다. 예를 들어, “외력이 작용하지 않을 때”, “시스템의 외부에서 외력이 가해지지 않을 때”, “운동 방향으로 외력이 작용하지 않을 때” 등의 응답을 힘 관련 서술로 분류하였다. 또한 “외부 시스템과의 에너지 교환이 없어야 한다”, “시스템 내에서의 에너지 손실이 없을 때” 등의 응답을 에너지 관련 서술로, “같은 관성계에서의 운동일 경우”, “반발계수=1”, 등을 기타 서술로 분류하였다.

학생의 응답에서 힘과 관련된 서술이 압도적으로 많았고, 힘과 관련된 서술들은 구체적으로는 ‘외력이 없음’, ‘알짜힘이 0’, ‘마찰력 없음’, ‘중심력 작용’으로 다시 분류되었다. 이중에 ‘외력이 없음’(21건), ‘알짜힘이 0’은 선운동량 보존의 조건으로 타당한 응답이라 할 수 있다<sup>3)</sup>.

한편 각운동량 보존법칙의 성립 조건에 대한 학생들의 응답은 크게 힘과 관련된 서술 (14건, 40.1%), 토크와 관련된 서술 (8건)이 많았고, 시스템과 관련된 서술, 에너지와 관련된 서술도 일부 있었다. 선운동량 보

---

3) 운동량 보존의 조건으로 많은 교재는 외력의 부재를 제시한다. 그렇지만, 운동량 보존을 다루는 많은 예제들은 외력이 없는 상황보다는 외력은 있지만 계에 작용하는 외력의 알짜힘, 혹은 알짜힘의 특정 성분이 영인 상황과 관련된다. 이런 점에서 ‘외력이 없음’, ‘알짜힘이 0’ 이외의 응답을 무조건 틀린 것으로 문제삼을 수는 없다.

존의 조건에 대한 응답에 비해 기타로 분류되는 응답과 무응답의 비율도 높은 편이었다. 또한 힘과 관련한 응답 중에서 각운동량 보존의 적절한 조건이라고 할 수 있는 중심력을 제시한 응답은 오직 한 건이었다. 여기에 외력에 의한 토크가 영, 알짜토크가 영, 외력에 의한 알짜토크가 영이라는 응답유형을 합쳐도 모두 8건에 그쳤다. 반면에 13명의 학생이 각운동량 보존의 조건으로 외력이 없음, 마찰력이 없음과 같은 부적절한 응답을 제시하였다. 이와 같이 각운동량 보존의 조건을 선운동량의 경우처럼 외력의 부재와 연결하는 것은 부적절하다. 교재에서 대표적으로 다루어지는 각운동량 보존의 사례는 외력이 부재한 상황보다는 중심력이라는 외력이 작용하는 상황, 혹은 외력이 작용하더라도 그로 인한 토크는 없는 상황이기 때문이다. 결과적으로 본 연구에서 학생들은 각운동량 보존이 성립하는 조건을 정확히 제시하지 못하였다<sup>4)</sup>.

---

4) 엄밀하게 말하면 지금까지의 논의는 입자의 각운동량 보존에 대한 것이고 입자계의 각운동량 보존의 성립조건은 보다 복잡하다. 이를테면 입자계의 각운동량은 외력 없이 강한 형태의 제3법칙을 만족하는 내력이 작용할 때 보존된다. 그런데 본 연구의 학생들의 응답 중에는 입자계의 각운동량 보존에만 관련되는 것으로 볼 수 있는 것이 없었다. 그래서 본 연구는 학생의 응답을 입자의 각운동량 보존이라는 맥락으로 제한해서 해석했다.

표 4.7 선운동량 및 각운동량 보존법칙의 전제조건에 대한 응답 수 (%)

	범주	선운동량	각운동량
힘	외력이 없음	21(61.8)	10(28.6)
	알짜힘이 0	1(2.9)	0(0)
	마찰력이 0	3(8.8)	3(8.6)
	중심력이 작용할 때	1(2.9)	1(2.9)
돌림힘	외부 돌림힘이 없음	0(0)	4(11.4)
	알짜 돌림힘이 0	0(0)	1(2.9)
	외부 모멘트가 없음	0(0)	1(2.9)
	알짜 외부 돌림힘이 0	0(0)	2(5.7)
시스템	단한계일 때	0(0)	1(2.9)
에너지	교환 없음	3(8.8)	1(2.9)
	기타	3(8.8)	6(17.1)
	무응답	2(5.9)	5(14.3)
	총합	34(100.0)	35(100.0)

- 학생들의 응답을 중복체크 하였음.

한편 ‘역학적 에너지 보존법칙’이 적용되는 조건에 대한 학생들의 응답의 특징을 범주화한 결과는 표 4.8과 같았다. 학생들의 응답은 크게 힘과 관련된 서술(17건), 에너지 관련 서술(5건), 시스템을 명시한 서술(2건), 기타 및 무응답(13)건으로 나뉘었다. 힘과 관련된 조건 제시는 ‘외력이 작용하지 않을 때’(12건)가 가장 많았으며 ‘보존력만 작용할 때’(4건)가 뒤를 이었다. 이중에서 보존력과 관련된 응답은 적절한 응답이라고 볼 수 있지만 단순히 외력의 부재는 역학적 에너지 보존의 (충분조건을 만족하지만) 적절한 조건이라 하기 힘들다. 비탄성 충돌, 마찰력과 관련된 많은 사례들이 외력의 부재 속에서 역학적 에너지의 손실을 나타낼 수 있기 때문이다. 또한 역학적 에너지 보존의 조건에 대해 에너지와 관련된 응답을 제시하는 것도 적절한 응답이라 보기 힘들다. 이를테면 “에



너지 출입이 없을 때”와 같은 에너지 관련 응답은 적절한 조건의 제시보다는 에너지 보존에 대한 동어반복에 가깝기 때문이다. 시스템과 관련된 “닫힌계”, “단열계”라는 응답도 비탄성 충돌의 사례에서 보듯이 역학적 에너지 보존에 대한 적절한 조건 제시라고 보기 힘들다.

한편으로 에너지 보존의 양상은 크게 시스템의 경계에서 일어나는 에너지의 전이(transfer)와 시스템 안에서 에너지의 형태가 바뀌는 에너지 전환(transform)으로 구분할 수 있다. 이러한 구분에서 퍼텐셜에너지가 관련되는 역학적 에너지 보존은 에너지 전환이 중요하게 된다. 그런데 에너지와 관련된 학생들의 응답들은 주로 에너지 전이와 관련되며, 에너지 전환은 학생들의 응답에서 잘 드러나지 않았다. 또한 퍼텐셜 에너지는 관련된 힘이 보존력일 때에만 정의되므로 보존력의 유무는 역학적 에너지 보존의 중요한 조건이 되지만, 본 연구에서는 오직 4명만이 보존력을 언급하는 데 그쳤다.

표 4.8 역학적에너지 보존법칙의 전제조건에 대한 응답 수 (%)

범주		응답 수(%)
힘	외력이 없음	12(34.3)
	보존력만 작용	4(11.4)
	마찰력 없음	1(2.9)
시스템	에너지 교환 없음	3(8.6)
	에너지 열 교환 없음	1(2.9)
	내부에너지 일정	1(2.9)
	닫힌계	1(2.9)
	단열계	1(2.9)
	관성계	1(2.9)
외부에서의 충격 없음		1(2.9)
기타		3(8.6)
무응답		6(17.1)
총합		35(100.0)

- 학생들의 응답을 중복체크 하였음.

마지막으로 열역학 제 1법칙이 적용될 수 있는 시스템에 대해 예비교사들은 다음과 같이 응답하였다. 가장 많은 수의 예비교사들은 열역학 1법칙이 적용 가능한 시스템에 대해 응답하지 못했다(44.1%). 이는 표 4.4에서의 결과에서와 같이 시스템을 설명하지 못했던 30%를 상회하는 수치이다. 적용 가능한 시스템에 대한 응답은 ‘닫힌계(23.5%)’, ‘고립계와 단열계(8.8%)’ 또는 ‘단열계(8.8%)’ 순으로 나타났다. 그리고 열린계, 모든계, 고립계 등에서 법칙이 적용될 수 있다는 응답이 일부 나타났다.

예비교사들의 응답을 자세히 살펴보기 위해 열역학 1법칙이 적용되기 위한 조건에 대해서 알아보았다. 가장 많은 예비교사들이 적용 조건에 대해 응답하지 못하였다(64.7%). 이는 열역학 1법칙이 적용 가능한 시스템을 답하는 문항보다 높은 수치이다. 무응답 이외에 가장 많은 응답으로는 외부와의 열 교환이 없음(17.6%)이었으며, 소수의 예비교사들이 외부에서의 일이 0이거나 마찰이 작용하지 않아야 한다고 응답했다.

표 4.9 열역학 1법칙 적용 가능한 시스템에 대한 응답

열역학 1법칙 적용 가능 시스템	응답자 수(%)
닫힌계	8(23.5)
고립계, 단열계	3(8.8)
단열계	3(8.8)
열린계	2(5.9)
단열계, 닫힌계	1(2.9)
모든계	1(2.9)
고립계	1(2.9)
무응답	15(44.1)
총합	34(100)

표 4.10 열역학 1법칙이 적용되기 위한 조건에 대한 응답

열역학 1법칙 적용 조건	응답자 수(%)
외부와의 열 교환 없음	6(17.6)
외부에서의 일이 0	1(2.9)
외부에서의 일 0, 외부와 열 교환 없음	1(2.9)
열린계	1(2.9)
마찰 없음	1(2.9)
고립계	1(2.9)
기타	1(2.9)
무응답	22(64.7)
총합	34(100)

## (2) 적용하는 법칙을 고려하지 못한 시스템의 구성요소 선택

(a) 오른쪽 그림에서 질량  $m$ 인 사람이 지면에 정지해 있는 질량  $M$ 인 수레에 올라타고 있습니다. 수레에 타기 직전의 사람의 수평방향 속도가  $v$ 였다면, 수레에 오른 후에 수레와 사람의 수평방향 속도를 운동량 보존법칙을 이용하여 설명해 주세요(단, 지면과 수레 사이의 마찰은 없습니다).

(b) 아래 그림과 같이 질량이 각각  $4\text{kg}$ ,  $1\text{kg}$ 인 물체 A, B가 질량을 무시할 수 있는 일정한 길이의 실로 연결되어 정지해 있습니다. 이 때 물체 A에 그림과 같이 **일정한 힘  $F=50\text{N}$** 이 작용하고 있습니다(단, 중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 이고, 모든 마찰력과 공기저항은 무시한다). 정지해 있던 물체 A, B가  $10\text{m}$  이동하였을 때, 역학적에너지의 변화 여부를 아래에서 고르고, 그 이유를 설명하세요.

① 보존된다    ② 보존되지 않는다    ③ 기타

그림 4.1 보존법칙 문제풀이 과정에서 사용한 시스템의 구성요소 선택과 이유에 관한 문항

보존법칙을 이해하고 적용하기 위해서는 시스템의 구성요소를 적절히 선택하고, 또한 외력과 내력을 필요에 따라 정확히 구분할 필요가 있다. 또한 학생들은 보존법칙의 성립조건으로 외력의 부재를 가장 빈번하게 제시하였다. 보존법칙은 시스템 내부의 물리량이 보존됨을 의미하는 것이기 때문에 보존의 유무를 따지기 전에 시스템의 규정이 선행되어야 한다. 이때 시스템의 선택, 구성요소 선정, 내력과 외력 사이의 구분에서의 실수는 보존법칙의 잘못된 적용으로 이어질 수 있다. 이러한 인식에서 본 연구는 그림 4.1의 선운동량 보존 문제 상황과 에너지 관련 문제 상황을 제시하고 학생들이 문제풀이 과정에서 어떻게 시스템의 구성요소를 선택하고 내력, 외력을 구분하는지를 조사하였다.

그림에서 선운동량과 관련된 문항 (a)는 정지해 있던 질량  $M$ 인 수레에 수평방향 속도  $v$ 로 질량  $m$ 인 사람이 착지한 후의 나중 속도를 구하

는 문제이다. 이 때 수레와 사람 사이의 마찰력은 있지만 수레와 지면과의 마찰력은 없다. 에너지와 관련된 문항 (b)는 50N의 외력이 물체 A에 작용할 때 물체 A, B의 역학적 에너지 변화 여부를 묻는 문항이다. 학생들은 문제 (a), (b)를 풀고 이 문제들을 해결할 때 시스템을 이용했는지를 답하도록 요구받았다. 시스템을 이용한 경우에는 문제를 풀 때 선택한 시스템의 구성요소, 시스템을 그와 같이 규정한 이유를 쓰고, 시스템을 이용하지 않은 경우는 그 이유를 설명하도록 하였다. 또 (a), (b)의 상황에서 작용하는 힘을 모두 표기하고 내·외력을 구분하도록 하였다.

위의 질문들에 대한 응답들을 종합하여 운동량보존 상황에 대한 학생들의 문제풀이 과정을 범주화하여 표 4.11에 제시하였다. 문제풀이에서 시스템을 이용하였다는 응답은 20건 (60.6%), 시스템을 이용하지 않고 문제를 풀었다는 응답은 9건 (27.3%)이었다. 시스템을 이용하였다는 응답 중에서는 시스템의 구성요소로 사람과 수레를 제시한 응답이 17건, 사람, 수레, 지면을 언급한 응답이 3건 있었다. 시스템의 구성요소를 그와 같이 잡은 이유에 대해서는 “관심을 갖는 대상이므로”, “접촉을 통해 상호작용을 하므로”, “외부힘이 작용하지 않도록 하려고” 등의 응답이 제시되었다. 한편 시스템의 설정 없이 문제를 풀었다고 응답한 학생들은 그 이유로 시스템에 익숙하지 않기 때문(5건), 자신의 풀이방식이 시스템을 사용하지 않기 때문(2건) 등의 이유를 제시하였다.

이러한 학생들의 응답 특징으로부터 두 가지 문제점을 찾을 수 있다. 첫째로 연구 참여자 중에서 선운동량 보존 상황의 문제를 풀면서 시스템의 요소를 선택한 이유로 외력이 작용하지 않도록 하기 위해서라는 응답을 명시적으로 제시한 학생이 한명에 그쳤다. 이것은 대부분의 학생들이 선운동량 보존을 정확히 적용하여 문제를 풀었다는 것과 대비된다. 즉 학생들은 선운동량 보존을 적절히 적용하여 문제를 풀어냈지만 선운동량

적용의 논리적 시작점이라고 할 시스템의 선택과 관련해서는 적절한 서술을 제시하지 못하고 있었다. 둘째로 시스템의 규정 없이 운동량 보존을 적용하는 것은 개념적 오류에 해당한다. 운동량 보존은 기본적으로 (알짜)외력이 0인 시스템에 적용되는 것이기 때문이다. 그럼에도 9명의 학생이 선운동량 보존의 문제 풀이에서 시스템을 사용하지 않았다고 응답하는 문제를 보였다.

표 4.11 문항 (a) 풀이 과정에서 사용한 학생들의 시스템의 구성요소와 이유

시스템의 구성요소		구성요소 선택 이유	응답 수(%)
시스템을 사용하여 문제풀이	수레, 사람	관찰대상	4 (12.1)
		접촉에 의한 상호작용	3(9.1)
		상호작용	3(9.1)
		계산과 운동 기술의 편의성	2(6.1)
		내력을 무시하기 위해	1 (3.0)
		외력을 무시하기 위해	1 (3.0)
		무응답	3(9.1)
	수레, 사람, 지면	관찰대상	1 (3.0)
		접촉에 의한 상호작용	1 (3.0)
		무응답	1 (3.0)
시스템을 사용하지 않고 문제풀이		시스템을 잘 모르겠음	5 (15.2)
		문제풀이 과정만 안다.	2(6.1)
		기타	4 (12.1)
		무응답	2(6.1)
총합			33(100.0)

# 학생들의 응답을 중복체크 하였음.

한편 역학적 에너지의 변화여부를 묻는 문항에 대한 학생들의 문제풀이 과정을 범주화한 결과를 표 4.12에 제시하였다. 문제풀이에서 시스템을 이용하였다는 응답은 18건, 시스템을 이용하지 않고 문제를 풀었다는 응답은 4건, 시스템의 이용여부에 대한 무응답은 9건이었다. 시스템을 이용하였다는 응답에서는 시스템의 구성요소로 물체 A와 물체 B(6건), 물체 A와 물체 B와 줄(4건) 등이 제시되었다. 그림 4.1에서 문제와 함께 주어진 그림에 나타난 객체들은 물체 A, 물체 B, 도르레, 줄, 지면이었고 이들의 다양한 조합이 시스템으로 제시되었다. 시스템의 구성요소를 응답과 같이 제시한 이유에 대해서는 관심을 갖는 대상(6건)이라는 응답이 많았고, 이유에 대한 무응답(7건)도 많은 편이었다. 또한 시스템의 선정 이유에 대해 “역학적 에너지에 관여하는 물체들이기 때문에”와 같이 학생들의 심층적인 이해를 확인할 수 있는 응답은 없었다. 한편 시스템의 설정 없이 문제를 푼 학생들은 자신의 풀이방식의 이유로 시스템의 개념상의 어려움(3건), 보존법칙과 시스템은 관련 없음(1건) 등의 이유를 언급하였다. 개념상의 어려움과 관련된 학생들의 응답은 “시스템을 어떻게 활용해야 할지 모르겠다”, “사실 시스템이 뭔지 모르겠다” 등이 있었으며, “중력은 보존력이므로 에너지 보존법칙이 당연히 성립한다”와 같이 시스템의 설정과 무관하게 보존법칙의 성립 조건이 만족된다는 응답도 있었다.

한편으로 시스템의 요소를 규정하여 문제를 풀었다고 답한 학생들 중에서 시스템의 요소로 지면(혹은 지구)을 포함한 경우(4건)보다 포함하지 않은 경우(11건)가 더 많았다. 두 가지 경우에 따라 중력에 의한 퍼텐셜에너지가 어느 객체에 속하는지가 달라질 수 있다. 전통적으로는 퍼텐셜에너지를 물체에 속하는 것처럼 표현한다. 즉 통상의 물리학 교재에서는 “물체 A의 퍼텐셜 에너지”와 같이 퍼텐셜 에너지가 물체에 온전히

속하는 것처럼 기술한다. 그런데 엄밀히 말할 때 퍼텐셜에너지는 물체와 지구로 이루어지는 전체 시스템에 속하는 것이며 최근에 시스템을 강조하는 에너지 교수학습 논의는 이러한 입장을 강조한다. 결국 학생들의 시스템의 규정은 퍼텐셜에너지의 소속에 대한 전통적인 관점과 가까운 것으로 해석할 수 있다.

한편으로 에너지의 변화여부를 따지는 문제에 대해 시스템을 규정하지 않고 풀었다는 응답은 개념적 오류를 포함하고 있는 것이다. 에너지란 곧 시스템이 갖는 에너지이므로 에너지의 변화여부를 따지는 것은 암묵적으로라도 시스템의 규정을 전제하는 것이기 때문이다.

표 4.12 문항 (b) 풀이 과정에서 사용한 학생들의 시스템의 구성요소와 이유

시스템의 구성요소		구성요소 선택 이유	응답 수(%)
시스템을 사용하여 문제풀이	A, B	관찰대상	3(9.7)
		무응답	3(9.7)
	A, B, 줄	관찰대상	1(3.2)
		계산과 운동 기술의 편의성	1(3.2)
		무응답	2(6.5)
	A, B, 지면	무응답	1(3.2)
	A, B, 지면, 도르레	관찰대상	1(3.2)
		접촉에 의한 상호작용	1(3.2)
	전체	관찰대상	1(3.2)
	A, B, 내력	무응답	1(3.2)
	기타		3(9.7)
시스템을 사용하지 않고 문제풀이		시스템의 개념을 모른다.	3(9.7)
		보존법칙은 항상 적용됨.	1(3.2)
무응답			9(29.0)
총합			31(100.0)

- 학생들의 응답을 중복체크 하였음.



문제풀이 과정에서 나타난 개념에 대한 이해는 개념에 대한 선언적 지식과 차이가 날 수 있다. 이를테면 내력과 외력을 올바르게 정의할 수 있더라도, 그것을 문제상황에 맞게 적용하는 것은 별개일 수 있다. 본 연구에서도 이러한 불일치를 찾을 수 있었다. 이를테면 [학생 1]은 내력과 외력의 정의를 바르게 기술했지만, 문제풀이 상황에서는 시스템을 규정하지 않았고, 문제 상황에 대한 내력과 외력 구분에서도 어려움을 겪고 있었다. [학생1]은 내력을 “시스템 내부 물체들 사이의 힘”, 외력을 “시스템 외부에서 시스템 내부로 주어진 힘”으로 정의했다. 하지만 [학생1]은 그림 4.1의 문제 (a), (b)를 풀이하는 과정에서 시스템의 구성요소를 선택하지 못한 채로 내력과 외력의 구분을 시도하였다. 이 과정에서 [학생 1]은 물체에 작용하는 중력을 내력으로 규정하고, 사람이 수레에 착지하면서 누르는 힘은 외력으로 구분하였다. 그러나 선운동량 보존을 문제상황에 적용하려면 사람과 수레를 시스템으로 규정하는 것이 자연스럽다. 이 때 물체에 작용하는 중력은 외력이며 사람이 수레에 착지하는 힘은 내력이 되므로 [학생 1]의 내력, 외력 구분은 적절하지 못하다. 결국 [학생 1]의 사례는 학습자들이 내력과 외력의 선언적 구분 기준을 정확히 알고 있더라도 문제상황에서 시스템을 규정하지 않고 내력과 외력을 구분하는 것의 문제를 보여준다.

내력과 외력을 구분하는 것은 보존법칙의 적용과 밀접하게 관련된다. 따라서 시스템의 구성요소를 선택할 때 적용해야 하는 보존법칙을 고려하여 결정해야 하며, 이를 바탕으로 내력과 외력을 올바르게 구분할 수 있어야 한다. 이런 의미에서 시스템에 기반한 관련 개념들의 학습이 보존법칙의 도입과 적용에서 강조되어야 한다. 그렇지만 학생들의 응답을 살펴보면 학생들은 보존법칙과 관련된 문제상황을 다룰 때 명시적으로 시스템을 규정하는 과정을 생략하고 있는 것처럼 보인다.

### (3) 외부와의 유효한 상호작용의 선별과 시스템에 미치는 영향 파악

#### ① 내력과 외력의 구분 기준과 필요성에 대한 응답

선운동량, 각운동량, 에너지 보존의 조건에 대한 학생의 응답에서 외력의 부재는 가장 빈번하게 언급되는 조건이었다. 외력(external force)은 ‘계의 외부에서 작용하는 힘’으로, 내력(internal force)은 ‘시스템을 구성하는 물체 사이에 작용하는 힘’으로 정의된다 (Bertalanffy, 1950). 즉, 시스템을 구성하는 물체와 상호작용하는 물체가 시스템 내부의 물체인지 시스템 외부의 물체인지에 따라 내력과 외력은 구분된다. 이러한 내력과 외력의 정의와 구분 기준을 범주화한 결과는 표 4.13과 같다. 16건의 응답이 계의 안과 바깥에서 작용하는지의 여부에 따라 내력과 외력을 나누었다. 또 6건의 응답에서 물체의 안과 바깥을 기준으로 내력과 외력을 나누었다. 힘의 상쇄 여부(cancel out or disproportion) 제시, 기타 및 무응답은 9건이었다. 보존법칙의 조건과 관련된 학생의 응답특징과 비교할 때 결과적으로 학생들은 내력과 외력의 구분기준을 더 정확히 제시한 셈이다.

표 4.13 내력과 외력의 분류기준에 대한 학생들의 응답

	범주	응답자 수(%)
힘의 근원의 위치	시스템의 내부(내력), 시스템의 외부(외력)	10(32.3)
	물체의 내부(내력), 물체의 외부(외력)	3(9.7)
	스스로(내력), 주체의 외부(외력)	1(3.2)
힘의 작용점의 위치	시스템의 내부(내력), 시스템의 외부(외력)	4(12.9)
	물체의 내부(내력), 물체의 외부(외력)	2(6.5)
상쇄 여부		3(9.7)
무응답		8(25.8)

총합	31(100)
----	---------

- 학생들의 응답을 중복체크 하였음.

한편 외력과 내력 구분의 필요성에 대한 학생들의 응답을 범주화한 결과는 표 4.14와 같다. 응답은 크게 문제 풀이와 관련된 서술(10건), 외력의 개념적 필요성에 대한 서술(5건), 내력의 개념적 필요성에 대한 서술(4건), 시스템을 부각시킨 서술(5건) 등으로 나뉘었다. 학생들은 문제 풀이와 관련한(problem solving related) 범주는 세부적으로는 보존법칙의 설명(5건), 문제의 단순화(3건), 쉬운 계산(2건) 등의 언급을 포함하였다. 외력의 개념적 필요성에 대해 서술한 응답들은 “(외력이) 물체의 운동과 상태와 관련”, “전체 시스템의 상태를 조사”등 을 언급하였다. 외력의 개념적 필요성을 담은 응답들은 세부적으로는 “실제 현상에서 관찰되지 않으며”, “시스템 안에서 상쇄” 등을 언급하였다.

실제로 내력과 외력은 물체의 운동과 상태의 해석에 중요한 요소로 특히 시스템의 질량 중심의 운동에 대한 해석에서 중요하다. 이를테면 입자계의 운동 분석에서 시스템에 작용하는 내력과 외력을 구분하고, 알짜 외력에 의한 시스템의 질량 중심의 운동 상태를 계산하는 것이 유용하다. 이와 같은 맥락에서 학생들이 내력과 외력의 구분을 통해 문제를 단순화하거나 계산을 쉽게 할 수 있다는 응답은 적절하다고 할 수 있다. 그런데 “내력이 실제 현상에서 관찰되지 않기 때문에 구분해야 한다”거나, “시스템의 전체 에너지를 계산하거나 계를 분류하기 위해 내력과 외력의 구분이 필요하다”는 응답 등 과학적으로 적절하지 않거나 해당 응답만으로 과학적인 설명임을 확인하기 어려운 응답들도 제시되었다.

표 4.14 내력과 외력의 분류의 필요성에 대한 학생들의 응답

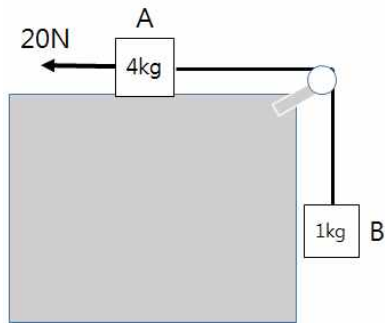
범주		응답자 수(%)
문제풀이	보존법칙을 설명하기 위해	5(13.9)
	문제를 간소화하기 위해	3(8.3)
	계산을 쉽게하기 위해	1(2.8)
	운동방정식 적용을 위해	1(2.8)
외력	외력은 물체의 운동과 상태와 관련되므로	3(8.3)
	외력을 무시하기 위해	1(2.8)
	전체 시스템의 상태를 조사하기 위해	1(2.8)
내력	실제 현상에서 내력은 관찰되지 않음	2(5.6)
	내력은 시스템 내부에서 상쇄되므로	1(2.8)
	보존법칙과 관련되므로	1(2.8)
시스템	전체 시스템의 에너지를 계산하기 위해	3(8.3)
	시스템을 분류하기 위해	2(5.6)
무응답		7(19.4)
기타		5(13.9)
총합		36(100.0)

- 학생들의 응답을 중복체크 하였음.

## ② 외력이 작용하는 시스템의 내부에너지의 변화에 대한 어려움

역학적에너지 보존법칙과 열역학 제 1법칙은 시스템과 주위의 상호작용에 의해 교환되는 물리량을 통해, 시스템 내부의 구성요소들의 운동상태를 예측과 같은 인과관계를 살펴보는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 역학적에너지 보존법칙이 적용되는 고립계와 열역학 제 1법칙이 적용되는 닫힌계 내부의 에너지를 학생들이 어떻게 이해하고 적용하는가를 살펴보았다. 이를 확인하기 위해 다음과 같은 문항을 학생들에게 제시하였다.

4. 그림 (가)는 두 물체가 질량을 무시할 수 있는 줄로 연결되어 있으며, 지면과 마찰이 없는 상태로 정지해 있습니다. 그림 (나)는 이상기체가 채워진 실린더가 평형상태를 이루고 있습니다. 피스톤의 질량과 모든 마찰은 무시할 수 있습니다. 다음 물음에 답해주세요 (단, 중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 이며, 실린더와 피스톤을 통한 열의 이동은 없습니다).



(가)



(나)

- (1) 그림 (가)의 정지해 있던 두 물체 중, 물체 A에 일정한 힘 20N을 왼쪽 방향으로 작용하였습니다. 물체가 10m 이동하는 과정에서의 두 물체 계의 역학적에너지의 크기의 변화를 선택하고, 그 이유를 설명해주세요.

증가한다 ( ) 감소한다 ( ) 일정하다 ( ) 알 수 없다 ( )

- (2) 그림 (나)의 평형상태에 있던 기체 계의 피스톤에 오른쪽 방향으로 일정한 힘 10 N이 작용하였다. 피스톤이 처음위치에서 오른쪽으로 10m 이동하는 과정에서의 기체 계의 내부에너지의 크기의 변화를 선택하고, 그 이유를 설명해주세요.

증가한다 ( ) 감소한다 ( ) 일정하다 ( ) 알 수 없다 ( )

그림 4.2 외력이 작용하는 시스템 내부의 에너지 변화에 대한 설문 문항  
(설문지 B - 문항4)

그림 4.2는 설문지 B의 문항 4이며 외력이 작용하는 두 시스템 내부의 에너지 변화에 대한 문제이다. 학생들은 두 시스템에서 역학적에너지

와 내부에너지 변화에 대해 응답했으며 그 결과는 다음과 같다.

표 4.15는 외력이 작용하는 시스템의 역학적에너지 변화에 대한 학생들의 응답이다. 학생들의 79.4%는 외력의 작용에 의해 역학적에너지가 증가한다고 응답했다. 그들의 응답 중 가장 많은 29.4%는 물체의 운동에너지와 위치에너지가 증가하기 때문에 두 에너지의 합인 역학적에너지가 증가할 것이라고 응답했다. 이는 시스템을 이루는 구성요소의 물리량(운동에너지)과 구성요소 간의 상호작용에 의한 물리량(위치에너지)의 변화를 통한 접근으로 볼 수 있다.

한편, 전체의 23.5%의 학생들은 외부에서 시스템에 일이 가해졌기 때문에 역학적에너지가 증가했다고 응답하였으며, 이는 시스템과 주위와의 상호작용의 관점에서 에너지의 흐름을 설명한 것으로 볼 수 있다. 이 결과는 학생들이 시스템 내부의 에너지 변화를, 부분들의 상호작용을 통한 접근과 시스템과 주위의 상호작용을 통한 접근의, 두 관점에서 이해하는 것으로 추측할 수 있다.

한편, 역학적에너지가 일정하다고 응답한 학생들은 전체의 8.8%가 나타났다. 비록 소수의 학생들이 역학적에너지가 일정하다고 설명했다지만, 이 학생들도 부분들의 상호작용으로 접근하거나 시스템과 주위의 상호작용으로 접근하는 두 가지 방식의 설명이 나타났다. 부분들의 상호작용을 통해 역학적에너지를 설명한 학생의 경우 물체를 하나의 시스템으로 규정하고 에너지 손실이 일어나지 않는다고 설명했다. 반면 시스템과 주위의 상호작용으로 문제 상황을 접근한 학생의 경우, 마찰에 의한 시스템의 에너지가 외부로 손실되지 않는다면 역학적에너지가 보존된다고 설명하였다.

표 4.15 외력이 작용하는 시스템의 역학적에너지 변화

외력이 작용하는 시스템의 역학적에너지 변화		응답자 수(%)
증가	물체의 운동에너지 증가+B의 위치에너지 증가	10(29.4)
	외부에서 시스템에 일이 가해져서	8(23.5)
	합력이 10N이므로	1(2.9)
	20N의 힘으로 10m이동해서 200J의 증가	1(2.9)
	시스템에 힘이 가해져서	1(2.9)
	기타	6(17.6)
일정	시스템 내에서의 마찰을 무시하면 항상 보존	1(2.9)
	물체를 하나의 시스템으로 보았을 때 에너지 손실은 없다.	1(2.9)
	기타	1(2.9)
무응답		4(11.8)
총합		34(100)

시스템의 내부에너지와 관련된 문제에서는 역학적에너지 변화와 다른 응답 분포가 나타났다. 학생들은 내부에너지 변화에 대한 물음에 감소(47.1%), 일정(23.5%) 증가(17.6%)로 답하였다. 이는 역학적에너지 변화에 대해 79.4%의 학생들이 증가한다고 응답한 것과는 뚜렷한 차이를 보이는 결과이다.

내부에너지 증가에 대한 응답은 다음과 같다. 2명의 학생은 평형상태의 에너지가 가장 낮기 때문이므로 피스톤에 외력이 가해진 상황이 평형상태가 깨져 에너지가 증가한다고 설명했다. 이는 문제에서 피스톤이 이

동하는 과정에서의 에너지 변화를 물었기 때문으로 판단된다. 그러나 문제에서 열의 이동이 없는 기체 계의 내부에너지에만 초점을 두었다는 점에서 이와 같은 접근은 옳지 않다. 즉, 시스템의 구성요소와 경계 설정 및 경계의 특성과 관련하여 문제 상황의 이해가 필요하다.

또한 부피 증가로 기체 계의 자유도가 증가했다는 응답은 기체의 자유도를 기체가 점유하는 공간의 의미로 이해했기 때문에 발생한 오류이다. 일반적으로 자유도는 병진, 진동, 회전과 관련하여 이해되어야 하며 부피와 직접적으로 연관된 개념은 아니다.

내부에너지가 감소한다고 응답한 학생들은 크게 두 가지 방식의 설명 방식을 사용하였다. 전체 응답에서 가장 많은 수를 차지하는 설명 방식은 기체가 일을 해서 내부에너지가 감소되었다는 응답으로 29.4%가 나타났다. 열역학 제 1법칙에 따르면  $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$ , 열역학적 일의 경우 기체가 일을 한 경우 양의 값으로 기체가 일을 받으면 음의 값에 해당한다. 따라서 기체가 일을 했다는 것은  $\Delta W > 0$ 으로 내부에너지는 감소하게 된다. 한편, 시스템 내부의 기체의 충돌 수 감소로 내부에너지를 설명한 학생들은 전체의 11.8%로, 내부에너지를 시스템 내부 기체들의 운동 에너지와 관련되며 기체의 운동에너지 감소가 곧 내부에너지 감소라고 설명하였다.

이와 같이 내부에너지 감소에 대해 학생들은 기체와 주위 사이에 열역학적 일이라는 상호작용에 의한 에너지 교환 측면에서 설명하거나 시스템 내의 구성요소인 기체들이 갖는 물리량의 측면에서 설명하는 두 가지 설명 방식을 보였다.

한편 Cummings 등 (2004)은 시스템의 내부에너지는 시스템을 구성하는 입자들의 총 운동에너지와 이들 입자간의 상호작용에 의한 총 포텐



설에너지의 합으로 정의한다. 하지만 실제 내부에너지의 계산에서 총 운동에너지와 포텐셜에너지를 직접 계산하는 것은 매우 복잡하므로 측정 가능한 물리량인  $Q$ 와  $W$ 를 통해 조작적 정의하며, 이러한 방식의 장점은 물질의 상세한 미시적 구조에 관계없이 내부에너지를 정의할 수 있다는 것이다. 즉, 학생들이 미시적 관점에서 내부에너지를 설명할 때 시스템 내부 기체들의 운동에너지와 함께 포텐셜에너지를 고려하는 것이 필요하다.

마지막으로 시스템에 외력이 작용하더라도 시스템의 내부에너지는 일정하다고 23.5%의 학생들이 답하였다. 이에 해당하는 학생들은 다양한 방식으로 내부에너지 일정을 설명하였다. 그 중에서 가장 많은 학생들은 열 이동이 없으므로 기체의 속도가 일정하다고 응답했으며, 이는 학생들이 시스템 내부의 기체들의 운동에너지를 내부에너지로 이해하였음을 확인할 수 있었다. 그러나 이 학생들은 실린더와 기체와의 상대속도에 의한 운동에너지 감소를 고려하지 않고, 시스템과 주위의 에너지 교환이 없기 때문에 기체의 운동에너지가 일정하다고 응답하였다.

한편, 피스톤을 시스템에 포함하여 전체 시스템의 에너지 보존과 내부에너지를 혼동한 응답도 나타났다. 이에 해당하는 학생은 “기체의 열  $E$  감소량 + 피스톤의 운동  $E$  증가량 = 일정”하기 때문에 내부에너지가 일정하다고 응답했다. 이는 시스템 내부의 기체의 내부에너지를 학생 본인이 정의한 시스템 전체의 에너지와 다르다는 것을 이해하지 못했기 때문이다. 이는 내부에너지가 기체들만의 운동에너지와 포텐셜에너지의 합으로 정의하는 것에 대한 이해 부족으로 해석되며, 내부에너지에 대한 정확한 학습의 필요성을 시사한다.

또한 기체 계에서의 열역학적 일에 관해서 시스템의 내부에너지를

설명하기도 하였다. 기체가 일을 한 것이 아니라 외력에 의한 실린더 이동이었기 때문에 내부에너지가 일정하다고 응답하거나 단열과정에서 일은 기체의 부피 증가에만 사용되므로 내부에너지와 무관하다고 설명하였다. 이를 논의하기 위해 열역학적 일에 대한 학생들의 설명을 조사한 결과를 살펴보았다.

표 4.16 외력이 작용하는 시스템의 내부에너지 변화에 대한 응답

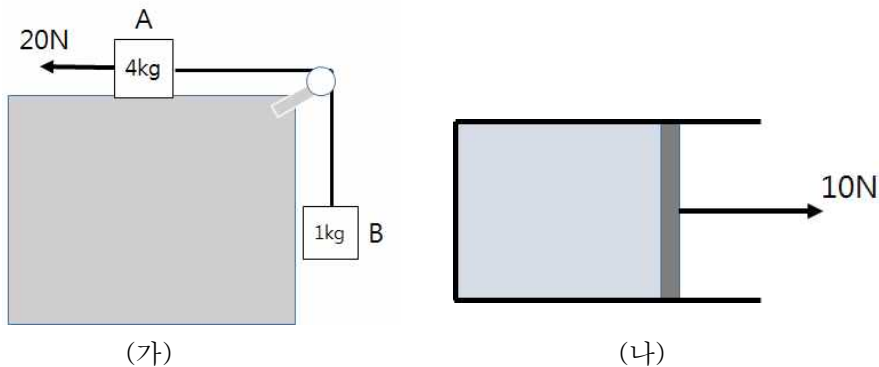
외력이 작용하는 시스템의 내부에너지 변화		응답자 수(%)
증가	평형상태의 에너지가 가장 낮기 때문	2(5.9)
	부피 증가로 기체 계의 자유도 증가	1(2.9)
	피스톤에 가해진 일이 내부 에너지로 전환	1(2.9)
	기타	2(5.9)
감소	기체가 일을 해서 내부에너지 감소	10(29.4)
	기체의 충돌 수 감소	4(11.8)
	기타	2(5.9)
일정	열 이동이 없으므로 기체의 속도 일정	3(8.8)
	기체가 일을 한 것이 아니므로	1(2.9)
	PV가 일정하므로	1(2.9)
	기체의 열E 감소량 + 피스톤의 운동 E 증가량 = 일정	1(2.9)
	단열과정에서 일은 기체의 부피증가에만 사용	1(2.9)
	기타	1(2.9)
기타		1(2.9)
무응답		3(8.8)
총합		34(100)

표 4.17 열역학적 일에 대한 정의에 대한 응답

열역학적 일에 대한 정의	응답자 수(%)
압력과 부피변화의 곱	8(23.5)
시스템의 에너지 변화	3(8.8)
온도 변화(내부에너지 변화) (U)	3(8.8)
시스템이 팽창할 수 있는 능력	1(2.9)
열의 이동을 가져오는 것(Q)	1(2.9)
어떤 시스템에서 전체 열에너지의 변화량(Q)	1(2.9)
역학에서의 일 + 열에너지의 변화량(W,Q)	1(2.9)
온도와 열량의 변화(U+Q)	1(2.9)
기타	3(8.8)
무응답	12(35.3)
총합	34(100)

③ 시스템의 경계의 속성 변화를 고려한 외부 상호작용의 선별과 적용

4. 그림 (가)는 두 물체가 질량을 무시할 수 있는 줄로 연결되어 있으며, 지면과 마찰이 없는 상태로 정지해 있습니다. 그림 (나)는 이상기체가 채워진 실린더가 평형상태를 이루고 있습니다. 피스톤의 질량과 모든 마찰은 무시할 수 있습니다. 다음 물음에 답해주세요(단, 중력가속도는  $10\text{m/s}^2$ 이며, 실린더와 피스톤을 통한 열의 이동은 없습니다).



(3) 기체 계를 경계로 열이 이동할 수 있다면, 기체 계의 내부 에너지는 ‘문항 4-(2)’에 대한 응답과 어떻게 달라지는지 선택하고, 그 이유를 써주세요.

동일하다 ( ) 달라진다 ( ) 알 수 없다 ( )

그림 4.3 열이 이동 가능한 외력이 작용하는 시스템 내부의 에너지 변화

시스템에 대한 학습에서 경계(boundary)에 대한 이해는 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 시스템의 경계의 특성의 변화와 학생들의 문제풀이 사이의 관계를 확인하기 위해 설문지 B의 문항 4-(2)에 연속된 문항을 개발하였다. 이를 위해 문항 4-(3)에서는 시스템의 경계를 통해 열의 이동이 가능할 때 내부에너지 변화를 4-(2)와 비교하고 그 이유를 설명

하도록 하였다.

표 5.12는 단열계와 비단열계의 내부에너지 변화와 그 이유에 대한 학생들의 응답이다. 학생들은 시스템의 경계가 비단열계로 그 특성이 변했을 때 내부에너지가 달라짐(61.8%), 알 수 없음(20.6%), 동일(8.8%)하다고 응답했다.

내부에너지가 달라진다는 학생들의 응답 중 가장 많은 수는 ‘ $\Delta Q$ 에 의해  $U$  영향(38.2%)’을 주기 때문이라고 설명했다. 이는 학생들이 열역학 제 1법칙인  $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$ 이 단열계의 경우  $\Delta Q$ 가 0, 비단열계의 경우 0이 아닌 것으로 이해하기 때문이다. 한편, 비단열계의 경우 내부에너지가 항상 일정하다는 학생들은 시스템과 주위와의 에너지 교환에 의해 열평형이 이뤄지기 때문이라고 설명했다.

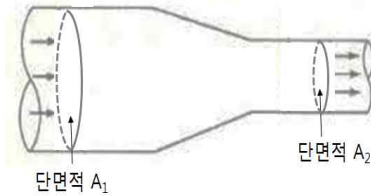
반면, 알 수 없다(20.6%)에 해당하는 학생들은  $\Delta Q$ 의 크기와 부호를 알 수 없기 때문에 내부에너지를 예측할 수 없다고 설명했다. 이와 같은 응답을 한 학생들은 단열계에서와 비단열계에서의 내부에너지가 달라진다고 응답자들과 동일하게  $\Delta Q$ 를 고려했으나, 주위와의 상호작용 변수를 좀 더 세밀하게 고려했다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 열역학적 과정을 고려해야 한다는 응답 역시 과정의 준정적 여부 등을 고려하여  $Q$ 와  $W$ 의 계산이 달라지기 때문이다. 내부에너지는 기체의 운동에너지와 포텐셜에너지의 합으로 정의되지만,  $Q$ 와  $W$ 의 관계에 의한 조작적 정의로 사용되기 때문에 역학적 과정을 고려하는 것이 학습에서 강조되어야 한다.

표 4.18 단열계와 비단열계의 내부에너지 비교

단열계와 비단열계의 내부에너지 비교		응답자 수(%)
달라짐	$\Delta Q$ 에 의해 U 영향	13 (38.2)
	단열이 아니면 U 일정	3 (8.8)
	열평형으로 U 일정	2 (5.9)
	$\Delta Q = \Delta U$	1 (2.9)
	기체 계의 상태에 따라 달라짐	1 (2.9)
	단열 아니면, 열역학 법칙 적용 불가	1 (2.9)
알수 없다	$\Delta Q$ 를 알 수 없음	6 (17.6)
	열역학 과정의 예측 어려움	1 (2.9)
동일	기체가 한 일과 외부로의 열 방출량 동일	2 (5.9)
	온도가 낮아지는 과정까지 동일	1 (2.9)
무응답		3 (8.8)
총합		34 (100)

(4) 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 고려하지 못한 시스템 이해

6. 오른쪽 그림과 같이 단면적이  $A_1$ 에서  $A_2$  ( $A_1 > A_2$ )로 변하는 원통형 관에, 밀도  $\rho$ 인 이상유체가 오른쪽 방향으로 흐르고 있다. 단면  $A_1$ 에 작용하는 유체의 압력은  $p_1$ , 유체속도는  $v_1$ 이고, 단면  $A_2$ 에 작용하는 유체의 압력은  $p_2$ , 유체속도는  $v_2$ 이다.



(1) 이상유체가 관을 따라 흐를 때, 단면적과 유체속도와의 관계식을 유도하고, 그 관계식을  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ 로 표현하세요.

(2) 동일한 시간 동안, 단면  $A_1$ 에 작용하는 압력  $p_1$ 에 의해 유체계가 받은 일  $W_1$ 과 유체계가 단면  $A_2$ 에 작용하는 압력  $p_2$ 로 한 일  $W_2$ 의 크기를 비교하고, 그 이유를 써주세요.

(3) 단면  $A_1$ 에 작용하는 압력  $p_1$ 과 단면  $A_2$ 에 작용하는 압력  $p_2$ 의 크기를 비교하고, 그 이유를 써주세요.

그림 4.4 이상유체가 흐르는 유체계의 물질량, 압력, 일에 대한 문항

이상유체가 흐르는 열린계에서의 에너지 보존법칙인 베르누이 법칙에 대한 학생들의 이해를 조사하기 위해 설문지 B의 6번 문항을 개발하였다. 문항 6은 세 가지 하위 문항으로 구성되며 각각 연속방정식, 일, 압력에 대한 이해를 물었으며, 본 연구에서는 일과 압력에 대한 학생들의 응답을 분석하였다.

단면  $A_1$ 과  $A_2$ 사이의 유체계가 단면  $A_1$  왼쪽에서 유입되는 유체에 의해 받은 일과 단면  $A_2$  오른쪽의 유체에 한 일을 비교하는 문항에 대한 학생들의 응답은 한 일의 크기가 같음(50%), 유체계가 한 일이 큼

( $W_1 < W_2$ , 14.7%), 유체계가 받은 일이 큼( $W_1 > W_2$ , 8.8%)로 나타났다.

유체계가 받은 일과 한 일이 같다고 응답한 학생들은 3가지 설명 방식으로 구분할 수 있었다. 그 중에서도 에너지가 보존되어야 하므로 유체계가 받은 일과 한 일이 같아야 한다고 응답(17.6%)이 가장 많았다. 그러나 학생들은 구체적으로 베르누이 방정식을 구성하는 세 가지 에너지를 고려해서 설명하지는 못했다.

베르누이 방정식은 ' $p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{일정}$ '로, 각 항은 다음과 같은 세 가지 일로 해석되어야 한다. 우선, 유체계의 양 경계의 속도의 변화를 통해 운동에너지 변화에 의한 시스템에 작용하는 일이 있으며,  $W = \Delta K$ 로 설명할 수 있다. 두 번째는 중력에 의한 일로 유체의 입구 높이와 출구 높이의 차에 의한 포텐셜 에너지로  $W_g = -\rho g \Delta V h$ 이다. 마지막으로 유입되는 유체가 유체계를 밀어 주며 발생한 부피 변화와 유체계가 출구에 있는 유체를 밀어 주는 힘에 의해 발생한 부피 변화와 관련된 일  $W = p \Delta V$ 가 있다.

또한 유체계가 받은 일과 한 일이 같다고 응답한 학생들의 많은 수는 '직관적으로 같음(14.7%)'이라고 응답했다. 이는 응답자들이 유체계가 관을 흐르면서 손실되는 에너지가 없기 때문에 보존되는 것이라고 생각되지만 정확한 이유를 설명하지 못한 것으로 앞의 응답과 유사하다. 또한 비슷한 수의 학생들이 '통과하는 유체의 양일 동일하므로 압력이 동일(11.8%)'하다고 응답했으나, 이 학생들은 흐르는 유체의 양을 압력과 동일한 개념으로 잘못 이해하고 있었다.

유체계가 한 일이 받은 일보다 크다고 설명한 학생은 14.7%였으며, 그들의 대부분은 압력의 크기 때문에 한 일의 크기가 크다고 응답했다. 이는 유입되는 유체가 유체계를 밀어 주며 발생한 부피 변화와 유체계가



출구에 있는 유체를 미는 힘에 의해 발생한 부피 변화와 관련된 일  $W = p \Delta V$ 만 고려한 이해로 볼 수 있다. 게다가 흐르는 유체는 단면적이 작은 곳을 지날 때 속도가 빨라지며 압력은 감소한다. 따라서 해당 문제에서 단면이 작은 출구를 지나는 유체의 경우 압력이 감소하기 때문에 부피 변화와 관련된 일의 크기는 감소하는 것으로 이해해야 한다.

유체계가 받은 일이 한 일보다 크다고 설명한 학생은 8.8%였으며 유체의 속도와 관련하여 일의 크기를 이해하는 경향이 나타났다. 두 학생의 설명에서는 단면이 작은 곳을 지나는 유체의 속도가 더 빠르다는 것에는 공통점이 있었지만 최종적인 설명에는 차이가 있었다. 한 학생은 “ $A_2$ 를 지나는 유체가 속도가 더 빠르기 때문에 운동에너지가 더 크다.”고 설명했다. 즉, 이 학생은 운동에너지가  $A_2$ 를 지날 때 더 커지기 때문에 유체계가 한 일보다 받은 일이 큰 것으로 판단한 것이다. 반면, 다른 학생은 “ $A_2$ 를 지나는 유체가 속도가 더 빠르기 때문에 압력이 더 작다.”고 설명했다. 이 학생의 경우  $W = p \Delta V$ 로 유체계가 받은 일과 한 일을 판단한 것으로 동일한  $\Delta V$ 일 때 압력의 크기로 일의 크기를 이해한 것이다. 즉, 유체계가 받은 일과 한 일의 크기에 대해 동일한 응답을 한 학생도 베르누이 법칙에서 고려하는 두 항 중 하나의 항의 해석에 편중된 해석을 한 것이다.

표 4.19 면적이 다른 두 경계에서의 일의 크기 비교

열린계의 면적이 다른 두 경계에서의 일의 크기 비교		응답자 수(%)
$W_1 = W_2$	에너지가 보존되어야 하므로	6(17.6)
	직관적으로 같다	5(14.7)
	통과하는 유체의 양 동일하고 압력도 동일해서	4(11.8)

	기타	2 (5.9)
$W_1 < W_2$	$A_2$ 에 작용하는 압력이 크므로	4 (11.8)
	$A_2$ 를 지나는 유체의 속도가 더 빠르기 때문에 운동에너지가 더 크다.	1 (2.9)
$W_1 > W_2$	$A_2$ 를 지나는 유체의 속도가 더 빠르기 때문에 운동에너지가 더 크다.	1 (2.9)
	$A_2$ 를 지나는 유체의 속도가 더 빠르기 때문에 압력이 더 작으므로	1 (2.9)
	기타	1 (2.9)
	무응답	9 (26.5)
	총합	34

앞에서 논의한 것처럼 유체계가 받은 일과 한 일에 대한 설명에서 유체의 압력과 속도가 중요한 요인으로 사용되었다. 따라서 흐르는 유체가 면적이 다른 두 곳을 지날 때의 압력에 대한 학생들의 생각을 심층적으로 살펴보는 것이 필요하다.

단면적이 작은 곳을 흐르는 유체의 압력이 크다고( $P_1 < P_2$ ) 응답한 학생들은 47.1%로 가장 많았다. 그 중에서 ‘단위 면적당 흐르는 유체의 양’으로 압력의 크기를 설명한 학생들이 26.5%를 차지했다. 이 학생들은 유체계에 출입하는 에너지의 해석을 통해 압력을 이해한 것이 아니라 단위 면적에 충돌하는 입자의 수가 많으면 더 큰 힘이 작용하고 이는 일반적으로 알고 있는 압력( $P = \frac{F}{A}$ )으로 이해하였기 때문이다.

11.8%의 학생들은 ‘유체계가 받은 일과 한 일의 크기가 같기 때문에 힘이 동일하므로 면적이 작은 곳의 압력이 크다’고 응답하였다. 이 학생

들은 유체계에서 발생하는 전체 일을, 일-운동에너지 정리( $W = \Delta K$ )에 의한 일을 고려하지 않고 부피 변화에 의해 발생한 일( $W = p\Delta V$ )만으로 해석하였다. 즉, 부피 변화에 의한 일만을 고려하면 유체계가 받은 일과 한 일의 크기는 동일하지 않으며, 일의 크기가 같다고 힘의 크기가 동일하다는 설명은 옳지 않다.

또한 소수의 학생들은 운동량 보존으로 압력의 크기를 설명하기도 하였다. 그렇지만 운동량 보존법칙에 대한 논의에서 자세히 다룬 것과 같이 비고립계의 경우에는 운동량 보존법칙을 적용하는 것이 아닌 관련되는 에너지와 일에 대한 해석으로 접근하는 것이 필요하다.

단면적이 큰 곳을 흐르는 유체의 압력이 크다고( $P_1 > P_2$ ) 응답한 학생은 14.7%였다. 그 중에서 ‘베르누이 법칙에 의해  $A_2$ 의 속도가 크기 때문에’ 빠르게 흐르는 유체의 압력이 더 작다고 설명했다. 이에 해당하는 학생들은 베르누이 법칙을 사용해서 일-운동에너지 정리와 부피 변화에 의한 일을 계산하였고 압력의 크기를 계산하였다. 또한 ‘일의 크기가 같으나  $A_2$ 의 속도가 크기 때문에’ 빠르게 흐르는 유체의 압력이 작다고 설명한 학생들도 해당 문제풀이를 정확하게 하였으나, 베르누이 법칙을 통한 구체적인 설명을 하지는 않았다.

한편, 단면적과 무관하게 압력의 크기가 같다고 응답한 학생은 부피 변화에 의한 일인  $W = P\Delta V$ 만을 사용하여 설명하였다. 이 경우 연속방정식에 의해  $Av$ 는 일정하므로 압력이 동일하다고 생각했으나, 일-운동에너지 정리에 의한 일을 함께 고려하지 않아 압력의 크기를 정확히 비교하지 못하였다.

표 4.20 면적이 다른 두 경계에서의 압력의 크기 비교

열린계의 면적이 다른 두 경계에서의 압력의 크기 비교		응답자 수(%)
	단위 면적당 흐르는 유체의 양	9(26.5)
	일의 크기가 같아 힘이 동일하므로 ( $\because \vec{F} = P\vec{A}$ )	4(11.8)
$P_1 < P_2$	$A_2$ 에서의 운동에너지가 더 크고 일이 더 크다.	1(2.9)
	운동량 보존에 의해 PA가 일정하므로	1(2.9)
	기타	1(2.9)
$P_1 > P_2$	베르누이 법칙에 의해 $A_2$ 의 속도가 크기 때문에	3(8.8)
	일의 크기가 같으나 $A_2$ 를 지나는 유체의 속도가 더 빠르기 때문에	2(5.9)
$P_1 = P_2$	일의 크기가 같고 $W = PAvt$ 이므로	4(11.8)
무응답		9(26.5)
총합		34(100)

### 4.3.3. 심층면담 과정에서 나타난 시스템 이해

시스템에 대해 응답한 설문 참여자들의 응답은 단편적인 서술이 대부분이었다. 따라서 심층면담을 통해 예비교사들이 이해하고 있는 시스템에 대해 자세히 살펴보았다. 면담 결과, 설문에서 나타났던 응답에서 나타나지 않았던 시스템의 속성들을 면담을 통해 확인할 수 있었다.

#### (1) 시스템에 대한 인식

##### 1) 경식(S1, 가명): 시스템은 공간 → 시스템은 공간에 대한 해석

경식(S1)은 면담의 첫 질문인 ‘본인이 생각하는 시스템의 정의는 무엇인가?’에 대한 답변으로 시스템이 “어떤 물체가 존재하는 공간”이라고 답하였다. 설문결과를 정리한 표 3.3을 보면 알 수 있듯이, 예비교사들은 시스템을 설명할 때 ‘공간(31.1%)’을 가장 많이 사용하였다. 연구자는 면담 과정에서 경식이 생각하는 시스템이 물체 등이 아니라 공간임을 재확인하기 위해 다시 한 번 시스템의 대상을 물었고, 경식은 본인이 앞에서 설명을 반복하여 시스템은 공간이라고 답하였다. 다음은 시스템에 대한 경식의 면담 내용을 발췌하였다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템은 무엇인가요?

S1: 어떤 물체에 대해 내가 보고자 하는 것, 공간

연구자: 그렇다면 어떤 것이 시스템의 대상인가요?

S1: 내가 보고자 하는 물체가 존재하는 공간이요.

그러나 경식(S1)은 면담이 진행되는 동안 시스템에 대한 자신의 설명을 수정하였다. 경식(S1)이 시스템이 무엇인지에 대한 응답의 변화는 시스템에 대한 역할을 설명 이후 나타났다. 경식(S1)은 시스템이 “최대한 간단하게 보고 간소화하는 과정”에서 중요하다고 생각하였고, 독립적인 물리량을 각각 계산해서 그 관계를 살펴보는 것이 과학에서 중요하다고 설명하였다. 이 과정에서 ‘해석’이라는 용어가 등장했다. 연구자는 경식이 사용한 공간과 해석이 동일하지 않음을 지적했다. 이에 경식은 본인이 이해하는 시스템을 “공간에 대한 해석”이라고 수정하였다.

연구자: 그렇다면 과학이나 물리학에서 시스템이라는 것은 어떤 역할 또는 중요성을 갖나요?

S1: 여러 시스템이 있으면 너무 복잡하니까 최대한 간단하게 보고 간소화하는 과정에서 (중요하다고 생각해요).

연구자: 본인이 말한 간소화하는 과정이 무엇인지 설명해 주실 수 있나요?

S1: 아아아.... 예를 들어서, 아 막 물체가 여러 개 움직여요. 하나가 움직이는 것을 알고 있는데, 여러 개를 이해하기 힘들니까 한 물체에 대한 관계를 통해 알아보는 거 같아요.

연구자: 복잡한 걸 간소화한다는 생각이 수에 관련된 건가요?

S1: 수에 관한 걸 수도 있고. 예를 들어, 선운동량과 각운동량은 관계가 없는 것일 수 있으니까 선운동량을 먼저 보고 각운동량을 나중에 보는 것 (같은 경우인 것 같아요).

(중략)

연구자: 아까 시스템이 어떤 물체에 대해서 내가 보고자 하는 공간이라고 했는데요. 맞나요?

S1: 내가 보고자 하는 게 내가 무엇을 볼 건지에 대해 정하고 그것에 대해 해석하는 것 같아요. 선형운동량을 본다면 그것에 대한 것만 보고 각운동량을 본다면 그것만 보는 것처럼요.

연구자: 해석과 공간이 다른 것 같은데요?

S1: 해석이 좀 더 가까운 것 같아요. 그 공간에 대한 해석 정도로 하면 될 것 같아요.

## 2) 홍기(S2, 가명): 여러 입자들의 모임으로서의 시스템

홍기(S2)는 “사람이 잡는대로” 하나의 시스템을 구성할 수 있으며, 거시적인 물체도 “여러 입자들의 모임”으로 이루어졌다고 설명했다. 또한 시스템을 정의할 때 기준에 대해서도 설명했다. 시스템은 “파티클의 상호작용을 기준으로 정해진다”고 생각하고 있었다.

홍기(S2)는 “역학에서 시스템이 명시적으로 드러나지만” 다른 영역에서도 시스템이 사용된다고 설명했다. 그는 물리교재에서는 나무토막을 밀 때 나무토막 하나에 힘을 작용하는 것처럼 볼 수도 있지만, 나무토막을 구성하는 수많은 입자들에 힘이 작용하는 것으로 생각할 수 있다고 설명하였다. 즉, 홍기(S2)는 시스템의 대상은 구체적인 사물이며 그 사물의 미시적인 입자를 말한다. 다음은 시스템의 구성요소에 대한 홍기(S2)의 면담 과정 일부를 발췌한 내용이다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템은 무엇인가요?

S2: 역학에서 명시적으로 드러나는 것 같지만 전자기학이나 어디서든 다 쓸 수 있는 것을 말해요.

연구자: 역학에서 시스템은 주로 어떤 개념과 관련해서 사용했나요?

S2: 파티클의 상호작용과 보존에서 사용했던 것 같아요.

연구자: 파티클의 상호작용과 관련해서 시스템을 설명할 수 있겠어요?

S2: 다시 생각해보니까 파티클의 상호작용에서 시스템을 쓴다기보다는, 시스템을 정의할 때 파티클의 상호작용을 기준으로 정의하는 것 같아요.

연구자: 그렇다면 시스템은 무엇이죠?

S2: 물리량이 변하는 상황에서... 시스템을 사용할 때 가장 쉬운... 가장 간단하게 말하면 물체를 밀 때 책에서는 교과서 같은 데에서는 나무토막을 밀 때 하나로 보지만, 엄청나게 많은 입자들을 미는 거잖아요. 힘을 가하는 지점 근처의 입자를 미는 것이고 그것들이 상호작용을 해서 하나로 움직이는 거니까요.

연구자: 그렇다면 시스템은 나무토막 같이 수많은 입자로 이뤄진 것을 말하는 건가요?

S2: 큰 느낌은 사람이 잡는대로 하나의 시스템이 되는 것 같아요.

### 3) 태현(S3, 가명): 확연히 달라지는 구역의 의미로서의 시스템

태현(S3)은 “물리적인 특성, 성질, 법칙의 작용이 확연히 달라지는 부분을 구역화”한 것을 시스템이라고 설명했다. 그는 시스템과 주위의(태현은 주위라는 용어를 사용하지는 않았다) 경계가 있으며, 경계를 기준으로 물리 법칙이 다르게 적용되어야 함을 강조하고 있었다. 태현(S3)은 에너지가 전달되지 않는 경계인 단열계 또는 버스와 같은 물리적인 경계를 시스템으로 이해했다. 두 가지 예는 시스템의 구역으로서 다른 측면이 강조되고 있다.



먼저, 태현(S3)은 버스의 경우 관찰자의 위치를 강조했다. 관찰자가 버스 내부 또는 외부에 있는지에 따라 버스 안과 밖에서 적용되는 물리 법칙에 의한 해석이 달라질 수 있다고 설명했다. 즉, 그는 관성 또는 비관성 좌표계와 시스템의 의미를 혼동하고 있었다. 또한 단열과 관련해서 태현(S3)은 열원의 위치를 강조했다. 이는 태현(S3)이가 앞에서 설명한 관찰자의 위치와 유사한 설명방식으로, 단열계에서 열원이 단열된 시스템 안에 있는지 밖에 있는지에 따라 시스템의 분석이 달라져야 한다고 이해한 것이다.

요컨대 태현(S3)은 물리적 경계를 기준으로 관찰자 또는 열원의 위치를 강조했다. 해당 구역에 적용해야 하는 물리적 법칙에 영향을 주는 요인(관찰자, 열원 등)이 구역 안에 포함된 물체의 해석에 영향을 주기 때문이며, 태현(S3)이가 생각하는 시스템은 그 요인들을 포함하여 정의되어야 한다. 다음은 시스템의 구성요소에 대한 태현(S3)의 면담 과정 일부를 발췌한 내용이다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템은 무엇인가요?

S3: 어떤 물리적인 특성이나 성질, 법칙이 작용하는 곳이 있을 때, 확연히 달라지는 부분들을 구역화한 것을 시스템이라고 해요.

연구자: 확연히 달라지는 구역에 대해 자세히 설명해 주실 수 있으세요?

S3: 그곳이 계의 경계가 되는데, 예를 들어, 단열이라든지 버스라든지 등이 밖에서 다르게 생각해야 하니까 (구역이라고 말했어요).

연구자: 밖에서와 다르다는 것이 중요한가요? 그리고 시스템 안에서 적용되는 법칙이 밖에서와 다르다는 것은 무슨 의미인가요?

S3: 관찰하는 위치도 중요할 수 있고, 그 자체로도 다를 수 있는 것 같아요. 관찰자가 아니어도 (다를 수 있는 것 같아요).

연구자: 그 자체로도 다르다는 것은 무엇이 다르다는 건가요?

S3: 구체적으로 생각을 말하면, 단열되는 상자가 있으면 그 안의 계와 밖의 계가 있을 것, 관찰자가 중요할 수 있는데 어떻게 보면 외부의 열로부터 단열이 되면 외부의 열로부터 안의 계에 영향을 미치지 않을 수 있으니까 물리적인 성질이 다르게 적용되어야 하는 것(을 말해요).

#### 4) 기태(S4, 가명): 자연을 이루는 여러 가지 요소들의 집합

기태(S4)는 시스템이 “시공간 안에 있는 객체들의 다수를 특정할 수 있게 있게 규정해 놓은 것들”로 설명하였다. 그러나 그가 설명하는 시스템이 단순히 다수들의 모임은 아니었다. 컵 안에 있는 물 분자들도 배치하는 방식에 따라 다르게 규정될 수 있는 것이라고 생각하고 있었다.

기태(S4)는 다수의 객체들의 모임이 중요한 이유는 자연의 현상이 단순하지 않기 때문으로 설명하였다. 그는 역사적으로 과학자 또는 철학자들이 자연을 설명하고 이해하기 위해 소수의 객체를 사용했다고 설명했다. 그러나 실제 자연현상은 복잡하기 때문에 복잡계에 대한 이해를 위해 객체들을 모아 놓은 시스템에 대한 탐구가 필요한 것이라고 응답했다. 다음은 시스템의 구성요소에 대한 기태(S4)의 면담 과정 일부를 발췌한 내용이다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템의 정의는 무엇인가요?

S4: 자연에 있어서, 자연을 이루는 여러 가지 요소들. 시공간을 포함해서 시공간 안에 있는 객체들이 있는데, 계는 시공간 안에 있는 객체들의 다수를 어느 특정할 수 있게 규정해 놓은 것들. 예를 들어 컵 안에 있는 물 분자들의 집합. 여러 가지 자연의 요소들을 어떻게 놓느냐에 따라 다양하게 규정될 수 있다.

연구자: 자연의 요소들을 특정지어 놓은 집합이라고 했는데, 집합을 규정한 이유는? 왜 우리는 시스템이라 지칭는가?

S4: 제 생각에는 역사적으로 볼 때 처음에 물리학이나 화학이 자연이 어떻게 돌아가는지 탐구하다가 자연을 탐구하다가 단순계 위주로 탐구하다가, 단순한 것을 어느 정도 해결했는데 복잡한 자연계에 도입하려면 하나 하나의 단순계를 적용하기 어렵기 때문에 계라는 것을 도입한 것 같아요.

#### 5) 규철(S5, 가명): 물질과 에너지가 교환되는 경계

규철(S5)은 시스템을 ‘경계’로 이해하고 있었다. 그는 시스템이 “물질과 에너지가 왔다 갔다 하는 경계”이며, “경계선을 설정할 수 있을 것”이라고 설명하였다. 규철(S5)이 생각하는 시스템은 특정 물질이 아닌 물질을 단절시키거나 통과시키는 통로의 의미로 사용되었다.

연구자는 경계에 대한 규철(S5)의 생각을 자세히 살펴보기 위해 “경계는 어떻게 정해지는가?”에 대해서 물어보았다. 규철(S5)은 “기준”이라는 용어를 사용해서 시스템을 구체적으로 설명하였다. 그는 문제풀이 상황을 예로 들었다. 그가 생각하는 문제풀이에서의 시스템이란 “문제풀이에서 필요한 정보를 뽑아내는 곳”이며, “우리가 관심을 두는 곳”이었다. 즉, 시스템은 ‘물질과 에너지의 경계’이며, 시스템의 선택은 ‘인간(탐구자)의 선택’이며 ‘(탐구자의) 목적’을 갖고 행해지는 행위이다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템의 정의는 무엇인가요?

S5: 물리에서 다루는 것이 물질과 에너지에 대한 것. 물질과 에너지가 왔다 갔다 하는 경계. 닫힌계 고립계와 같은 것은 내부와 외부가 있고 차단이 될 수도 있고 연결이 될 수 있는 것. 경계선을 설정할 수 있는 것

### 을 계 또는 시스템

연구자: 경계선은 어떻게 정해지나요?

S5: 기준을 말씀하시는 건가요?

연구자: 기준일 수도 있고요. 예를 들어, 어떤 물리 문제를 풀 때 이것이 경계다 하는 것은 무엇인가요?

S5: 문제풀이에 있어서는 문제풀이에 필요한 정보를 뽑아내면 그것이 계인 것 같아요.

연구자: 그 때 경계는 무엇이지요?

S5: 그러니까 우리가 예를 들어 물체의 자유도나 이런 것을 만들 때 힘을 분석하잖아요. 문제풀이를 위해 필요한.. (예를 들어) 도르레에 수레가 있을 때. 이 부분을 계로 설정하잖아요. 여기서 일어난 일은 관심이 없잖아요. 물론 이 부분에 대해서도 우리가 관심을 갖을 수 있지만. 문제풀이에 있어서는 우리가 집중하고자 하는... 문제풀이에 필요한 정보를 뽑아내는 것은 이 부분이란 말이지요. 제한적 의미에서의 계를 설정하는 방법. 사실 계를 설정한다는 것은 그 안에서 일어나는 일에 관심을 갖기 때문에 계를 설정. 국소적인 부분이 아니라 전체에 관심이 있다면 그것을 계로 설정할 수 있지요. 계는 어떤 부분에 대해 관심을 갖느냐에 따라 자유롭게 설정할 수 있는 것 같아요.

6) 성수(S6, 가명): 공통된 관점을 이용해서 인지하고자 하는 것의 묶음

성수(S6)는 시스템이 “어느 한 공통된 관점을 이용해서 내가 인지하고 싶은 것들을 묶어 놓은 것”이라고 설명했다. 성수(S6)는 운동량, 시간, 질량 등을 물리적 속성이며, 이 ‘물리적 속성’이 ‘관점’에 의해 달라진다고 설명했다. 또한 성수(S6)는 연구자의 ‘묶어 놓음’에 대한 질문에 대

해 “한 데 모아서 보는” “인지”적 행위라고 답했다. 그는 박스 안의 물체를 인지하거나 전기장과 같이 무한대의 개념이 필요한 경우에 무한대의 영역까지 확장되어 생각하는 것을 인지의 행위로 이해했다.

한편, 성수(S6)는 ‘고려와 인지’, ‘관찰’을 구분했는데, ‘관찰’은 “바로 딱 봤을 때의 그 자체”인 반면 ‘고려와 인지’는 “생각하거나 분석하는 것”이라고 설명했다. 즉, 성수(S6)는 시스템이 생각하거나 분석하는 인지적 행위를 위해 묶어 놓은 대상을 의미한다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템의 정의는 무엇인가요?

S6: 어느 한 공통된 관점을 이용해서 내가 인지하고 싶은 것들을 묶어 놓은 것을 말해요.

연구자: 공통된 관점은 무엇인가요?

S6: 관성계랑 비관성계와 같이. 저의 상태가 바뀌면 저의 관점도 바뀔 것이고, 물리적 속성은 그대로일지라도 (저의 상태에 따라) 달라질 수 있어요.

연구자: 물리적 속성이 변하지 않더라도 관점 또는 인식에 의해서 속성이 달라진다는 의미인가요?

S6: 에너지는.. 하나로 동일한 것임에도 불구하고 달라질 수 있다는 것을 의미해요. 변화과정을 거치면 동일한 것이라도 달라질 수 있어요.

연구자: 물리적 속성이라는 것은 무엇인가요?

S6: 에너지, 에너지의 출입, 운동량, 시간, 질량을 말해요.

연구자: 앞에서 시스템이 공통된 관점을 이용해서 내가 인지하고자 하는 것들을 묶어 놓았다고 했는데, 묶어 놓은 것이란 붙어 있어야 한다는 것인가요?

S6: 한 데 모아서 본다는 의미로 설명했어요. 내가 만약에 박스 안에 놓은

것들을 인지한다. 예를 들어, 전기장은 무한대까지 펼쳐 나가니까 무한대까지를 (묶어서) 봐야겠지요.

연구자: 한 데 모아서 본다는 것은 여러 개의 대상이 있어야 한다는 것인가요?

S6: 전하 하나 질량 하나도 가능해요. 단일한 것(입자, 전하)도 장의 의미를 가지니까 하나라도 돼요.

연구자: 고려, 인지, 관찰이라는 용어를 사용했는데, 구분해서 설명할 수 있어요?

S6: 고려나 인지는 제 생각 속에서 생각하거나 분석하는 것을 의미하고, 관찰은 그 자체의 본다는 의미로 썼어요.

연구자: 그 자체를 보는 거랑 분석한다는 것은 수준이 다른가요?

S6: 방금 말했던 것처럼 운동량, 에너지 등을 관찰한다고 했을 때, 분석하면 (물리량이) 동일한데, 관찰에서는 다르게 보일 수 있어요.

연구자: 그렇다면 관찰과 분석은 다르겠네요?

S6: 관찰은 바로 딱 봤을 때의 그 자체예요.

표 4.21 심층면담과정에서 추출한 시스템에 대한 예비교사의 설명

예비교사(가명) 시스템에 대한 설명	
S1 (경식)	시스템은 공간 → 시스템은 공간에 대한 해석
S2 (흥기)	여러 입자들의 모임으로서의 시스템
S3 (태현)	확연히 달라지는 구역의 의미로서의 시스템
S4 (기태)	자연을 이루는 여러 가지 요소들의 집합
S5 (규철)	물질과 에너지가 교환되는 경계
S6 (성수)	공통된 관점을 이용해서 인지하고자 하는 것의 묶음

## (2) 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기

### ① 제시된 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한 조건의 파악

#### 1) 제시된 배경 상황의 제한 조건의 파악의 중요성

물리적 상황을 시스템적으로 이해하는 것에 첫 번째 단계는 제시된 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한 조건을 파악이 필요하다. 실제 세계의 현상을 물리학에서 사용하기 위해서는 탐구 대상을 모델링하며, 이를 현상에 다시 적용한다 (Danusso et al., 2010; Gilbert, 2004; Halloun, 1996). 이와 같은 모델링 과정에서 대상을 이상화하며 탐구에 적절한 형태로 제한된 조건을 적용한다.

성수(S6)는 문제풀이에서는 제한 조건 또는 물리적 이상화를 강조하고 있다. 이를테면 얼음판 위에서 운동하는 물체에 작용하는 마찰력이 없다고 가정하게 되면 학생이 물체의 운동 상태를 쉽게 해석할 수 있다. 성수는 이를 자신이 생각하는 “상황 계”라고 설명하였다. 이와 같이 마찰력이 존재하지 않는 물리적 상황에서 학생은 “사고를 깔끔하게” 진행시킬 수 있다.

또한 성수(S6)는 학생 자신이 문제풀이에 필요한 구성요소의 특성 또는 제한 조건을 추가하거나 제외하는 행위는 계(시스템)을 이해하기 위해 필수적이라고 생각하고 있었다. 그는 우주론을 예를 들어 설명하였다. 천체의 운동 상태를 계산하고 해석하는 데 수많은 천체의 질량을 모두 고려해서는 물리적 상황을 예측하기 어렵기 때문에 실제 현상을 간소화하는 것이 중요하다고 설명하였다.

연구자: 문제풀이에서 계는 중요한가요?

S6: 문제 풀이에서는 우리 나라는 이것은 제외한다 등의 것들이 잘 나와서 상관없는데, 만약에 조건이 잘 제시되지 않으면 사고하고자 하는 것을 잘 모아두어야 한다. 얼음판에서의 운동에서, 마찰이 없는 것은 내가 생각하는 상황 계에서는 그것이 없다고 생각하는 것이 사고를 깔끔하게 하고 학생 자신이 잘 정할 수 있도록 하는 것

연구자: 학생 자신이 문제풀이에 필요한 것은 넣고 빼는 것을 이해하는 능력이 계를 이해하는 능력과 같은가요?

S6: 사고를 하기 위해서 할 수밖에 없는 것. 예를 들어 우주론 공부를 할 때 질량 분포가 다른데 균일하다고 생각하고 깔끔하게 접근하는 것이 계를 상정하는 것과 관계된다.

## 2) 문제 상황에서 요인 추출과 추가를 통한 학생의 인지 수준 확장

규철(S5)은 문제 상황에서 필요한 요인들을 추출하는 것이 중요하다고 설명하였다. 그는 요인을 추출하는 것이 학생들의 인지적 수준의 한계 안에서 학습이 수행되기 위해 필요하다고 설명했다. 만일 학생들의 수준을 상회하는 요인들이 문제 상황에서 제시된다면, 그 학생들이 성취 수준에 도달하기 어려울 것이라고 설명하였다. 즉, 규철(S5)은 학생들의 문제 상황을 해결할 수 있는 수준 내에서 학습할 수 있도록 고려해야 하는 요소들의 추출이 필요하다고 생각하였다.

또한 시스템에 작용하는 요인 중 목표로 하는 양과 관련된 것을 선택하는 것이 중요하다고 설명하였다. 예를 들어 가속도를 구하는 것이 문제의 목표라면 가속도에 영향을 주는 요인들은 고려하고 가속도에 영향을 주지 않는 요인들은 문제풀이 과정에서 고려하지 않는 것이라고 설명하였다.



연구자: 과학 학습 또는 물리학에서 시스템은 왜 중요한가?

S5: 그렇죠. 왜냐하면 학습에서는 더더욱 중요한 것이. 교육학적인 측면에서 학생들의 인지 수준이 한계가 있잖아요. 그 한계 수준을 넘어서는 것을 계속 생각하게 하면. 성취 수준에 도달시킬 수 있는 적절한 교육 과정이 있는 것이 아닌 것 같다. 고등학교 때 자유도를 언급하셨던 것도 이 수준에서는 이 부분에 관심을 갖아야 한다. 힘들어 영향을 받는 범위라는 측면에서 계라는 사고가 잡혔을 것. 그런 사고는 복잡한 문제가 나왔을 때 필요한 힘들어 추출을 해내고 이 운동에 영향을 미치는 요소들을 분석을 할 때. 필요한 팩터들을 추출해 낼 수 있을 때. 그리고 그것들이 시스템이 되는 것. 학습에서 우리가 원하는 요소들을 추출하는 것에 대해 알려주는 측면에서 중요해요.

연구자: 물질, 에너지 등이 계를 설정할 때 경계에서 이동하는 것을 얘기했는데, 지금 얘기에서는 팩터라는 말들이 나왔는데, 이 팩터는 무엇이지요?

S5: 이 예시로 다시 생각할 때. 팩터라는 것이 중력도 있고, 수직 항력도 있고 장력도 있지만 이것들이 이 물체에 영향을 주는 팩터라고 할 수 있잖아요. 이것들을 포함하는 계를 잡을 수도 있지만 영향을 미치는 요소들이기 때문이에요. 그렇지만 수평 또는 수직 성분만 볼 수도 있다. 만약 가속도가 우리가 알고자 하는 것이라면 그 가속도에 영향을 미치는 요소들을 모아서 계라고 할 수 있지 않겠느냐는 것이 생각

연구자: 우리가 원하는 물리량에 관계된 것?

S5: 좁은 의미로 가르치는 것이 직접적인 영향을 주는 요소들을 아는 것. 넓게 이해한다는 것은... 학습에서 있어서 갑자기 생각난 것인데, 계를 좁은 의미로 한정된 것으로 보는 것이 아니라 좁히고 넓히는 것을 아는 것을 배워야

연구자: 좁은 의미 넓은 의미를 다시 설명하면?

S5: 좁은 의미로는 이 힘들만 분석하면 되는데, 마찰력이 추가되면 수평성분만 알면됐는데, 마찰력이 포함되면서 수직 성분도 알아야 하잖아요. 따라서 수평방향 성분만 안다고 하면 이 문제를 풀 수가 없다. 교사의 역학은 문제풀이에서 필요한 요소를 추출하는 것을 가르쳐야 하지만, 좀 더 넓은 문제가 됐을 때 직접적이지 않았던 성분을 어떻게 다뤄야 하는지 가르쳐야 한다.

연구자: 확장 가능성까지 고려한 학습이 되어야 한다?

S5: 네

## ② 고려하고 있는 법칙과 원리가 적용되는 구성요소의 선택

### 1) 현상에 대한 해석과 밀접한 경계 짓기

시스템을 공간에 대한 해석이라고 이해했던 경식(S1)은 시스템의 경계 짓기가 해석과 관련하여 중요하다고 설명했다. 그는 해석의 대상 또는 현상이 “어느 공간”에 있는지에 따라 해석 여부에 영향을 준다고 이해하고 있었다. 경식(S1)은 시스템을 “잡는다”라는 표현을 사용했는데, 해석의 주체가 다양한 방법으로 시스템을 선택하고 해석이 가능함을 의미한다.

연구자: 그렇다면 시스템을 잘 이해하고 있어야 했던 경험이 있었나요?

S1: (계를) 잘 잡아야 하는 것 같아요. 어느 공간에서 있었냐는 것에 대해 잘 잡아야 해석이 되니까요.

이러한 시스템 선택의 다양성은 다음과 같은 설명에서도 나타난다. 경식(S1)은 여러 시스템을 잡거나 하나의 시스템으로 잡는 행위가 해석

이 난이도를 결정할 수 있다고 설명했다. 게다가 경식(S1)은 시스템 경계 짓기에 따라서 해석이 불가능할 수 있다고 대답했다.

연구자: 시스템을 잘 못 잡으면 해석이 어려운가요?

S1: 시스템을 잘못 잡으면... 예를 들어, 상자 안에 피스톤 하나 박아 놓고 여기 저기 다른 시스템을 잡아 놓고 하면 해석이 되는 것을 하나의 시스템으로 보면 해석이 어려운 경우가 있었어요.

연구자: 하나의 시스템으로 보면 풀리지 않는다는 건가요?

S1: 하나의 시스템으로 보면 내부에서 뭐가 일어나는지 해석이 안 되잖아 요. 사실 단열이라고 보면 운동이 없는 것인데, 두 개의 독립적인 시스템으로 보면 운동하는 경우도 있으니까요.

## 2) 질량 중심 또는 보존의 개념을 설명하기 위한 경계 짓기

홍기(S2)는 “사람이 잡는대로 하나의 시스템”이 되며 문제 해결을 위해 시스템이 선택되어야 한다고 생각했다. 그는 중고등학교 때의 학습 경험을 토대로 “문제 해결에 용이한 시스템을 잡는 것”이 필요하며, 시스템의 경계를 설정하고 그 안에서 보존되는 물리량과 질량 중심을 이해하는 데 중요하다고 설명했다.

연구자: 그렇다면 시스템은 나무토막 같이 수많은 입자로 이뤄진 것을 말하는 건가요?

S2: 큰 느낌은 사람이 잡는대로 하나의 시스템이 되는 것 같아요.

연구자: 잡는다는 것은 무엇을 의미하나요?

S2: 중고등학교 때를 생각해 보면 문제를 해결하기 용이한대로 시스템을

잡는 것. 주로 보존 상황. 입자 하나의 보존을 볼 수 있는데, 입자 여러 개가 모여서 보여지는 것이 다른 것 같아요. 질량 중심이라든지 시스템 내에서의 보존을 얘기할 수 있고. 입자 여러 개가 모여서 보여지는 물리적 성질이나, 시스템의 안과 밖을 구분 지으려고 시스템을 이야기한 것 같아요.

### 3) 특정 법칙이 적용되는 경계로서의 시스템

태현(S3)은 시스템이 적용되는 법칙을 구분하는 기능을 갖고 있다고 설명하였다. 태현(S3)에게 있어서 시스템을 선택하는 행위는 시스템과 시스템 외부에 적용되는 법칙이 달라져야 한다고 생각하고 있었다. 물리학의 법칙 적용에서 관찰자의 상태를 강조했던 태현(S3)에게 시스템의 선택은 물리학에서의 관찰자와 유사한 기능으로 이해되고 있었다. 또한 그는 단열재를 시스템의 물리적 예로 사용하여 설명을 계속해 나갔다. 단열재로 둘러 쌓인 시스템에 열원이 있는 경우 열원에 의한 영향을 받는 시스템 내부와 열원의 영향을 받는 시스템 외부는 동일한 법칙이라도 다르게 적용되어야 한다고 설명하였다.

발췌문의 마지막 부분에서 태현(S3)은 “현상을 설명하고 해석하고 예측하는 것”이 시스템의 “크리티컬한 경계”에 따라 달라진다고 설명했다. 이는 시스템이 자유롭게 경계 지어질 수 있는 것이지만 “크리티컬한 경계”에 따라 ‘현상을 설명하고자 하는 목적’ 달성 여부 또는 난이도가 달라진다고 이해하고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 태현(S3)이 ‘현상의 설명, 해석, 예측’이 시스템의 기능이라고 생각하고 있음을 보여준다.

연구자: 과학에서 시스템은 왜 중요한가요?

S3: 어떤 현상을 알아보거나 예측할 때 (중요해요), 버스 같은 경우 관찰자에 따라서 달라지기 때문에 (관찰자와 관련된 시스템이) 다르게 적용되어야 한다. 그것을 시스템이 나눠준다고 생각된다. (관찰자와 시스템에 따라) 다르게 적용되니까...

연구자: 다르게 적용된다는 것이 동일한 법칙이라도 시스템 안에서 적용되는데 시스템 밖에서는 적용되지 않는다는 건가요?

S3: 버스 안의 좌표계와 버스 밖의 절대 좌표계 같은 두 가지가 필요하고. 다른 예는 단열재 안에 열원이 있는 경우, 열원이 있는 지점을 원점으로 잡았을 때 단열재의 경계를 기준으로 법칙이 적용되는 것이 다르다. 따라서 확실히 시스템은 (시스템 밖과) 큰 차이가 난다.

연구자: 그러면 그 시스템은 어떻게 정하나요? 누가 정하지요?

S3: 현상을 설명하고자 하는 목적에 따라 편리함을 위해 정하는 것. 어떤 시스템을 기준으로 생각하느냐에 따라 다르니까 크리티컬한 경계가 있어야 해요. 설명하고 해석하고 예측하기 위해서.

### ③ 외부와의 유효한 상호작용을 선별하고 그 효과를 파악

#### 1) 상호작용하는 물리량의 구분을 위한 경계의 명료화

홍기(S2)는 상호작용하는 물리량을 경계를 기준으로 구분할 수 있다고 설명했다. 그는 이렇게 구분된 물리량 중에 일부가 계산 과정에서 제외할 수 있어 계산의 편의성을 얻을 수 있다고 생각했다. 그는 내력과 외력의 구분이 대표적인 예이며 두 힘의 구분이 시스템을 경계 짓기를 통해 가능하다고 설명했다.

홍기(S2)는 “시스템을 잡는 순간 시스템과 주위가 구분”된다고 설명했다. 이와 같이 시스템을 잡는 행위는 상호작용하는 물리량을 3가지로 분류한다: 1) 시스템 내부 물체 사이에 작용하는 물리량 2) 시스템 외부

물체 사이에 작용하는 물리량 3) 시스템 내부와 외부 물체 사이에 작용하는 물리량. 홍기(S2)가 설명한 물리량인 내력과 외력은 위의 상호작용 중 각각 1)과 3)에 해당한다. 또한 그는 열역학에서 시스템과 주위의 출입하는 물리량에 대한 설명에서 외부에서 상호작용하는 물리량이 “의미가 없다”고 설명했다. 이 둘의 공통점은 경계 짓기를 통해 구분한 세 가지 물리량 중 시스템 또는 시스템 내부의 물체들과의 상호작용이 - 외부에서만 일어나는 상호작용을 제외한 - 강조되고 있다는 점이다.

연구자: 시스템을 잡는 중요한 이유 중에 하나가 내력을 계산하지 않는 요소로 만드는 것이라고 했지요?

S2: 네

연구자: 그렇다면 외력은 무엇인가요?

S2: 시스템을 잡는 순간 시스템과 주위가 구분이 되는 거잖아요. 크게 세 가지로 나눌 수 있는 것 같은데, 시스템 내부 사이에 작용하는 힘. 외부 물체 사이에 작용하는 힘. 시스템 내부의 파티클과 외부에서의 상호작용.

연구자: 그러면 계 내부와 계 외부의 물체 하나씩이 필요하겠네요?

S2: 네. 그렇네요.

연구자: 시스템을 잡는 것이 중요하겠네요?

S2: 네. 시스템을 잡았을 때 내력을 얘기할 수 있고, 외력을 얘기할 수 있을 것 같아요.

연구자: 혹시 내력과 외력과 같이 시스템을 잡아야만 이해할 수 있는 이론, 법칙, 개념들이 있나요?

S2: 외력만큼 시스템을 잡아야만 하는지 명확하지는 않은데, 열역학에서 시스템과 외부의 출입을 얘기하잖아요. 마찬가지로 시스템을 잡고... 외

부에서 왔다가 갔다 하는 것은 의미가 없을 테고... 동적 평형같이...

## 2) 상호작용하는 물리량 이해를 위한 시스템 잡기

홍기(S2)는 시스템을 선택하는(피면담자는 시스템을 잡는다고 표현했다.) 중요한 이유가 내력을 계산하지 않기 때문이라고 설명했다. 홍기(S2)는 시스템을 선택하는 순간 시스템과 주위가 구분되며, 상호작용을 다음과 같이 세 가지 유형이 있다고 답했다: 1) 시스템 내부 구성요소 사이에서 작용하는 상호작용 2) 시스템의 구성요소와 시스템 외부 구성요소 사이의 상호작용 3) 시스템 외부 구성요소 사이의 상호작용. 이 중에서 내력은 1) 시스템 내부 구성요소 사이에 작용하는 힘으로, 외력은 시스템의 구성요소와 시스템 외부 구성요소 사이에 작용하는 힘으로 설명하였다. 또한 홍기(S2)는 상호작용을 미시적 상호작용과 거시적 상호작용으로 구분하였다. 예를 들어, 열역학에서는 “시스템과 외부의 출입”이 관심대상이며, “외부에서 왔다 갔다 하는 (상호작용은) 의미가 없다”고 설명하였다.

홍기(S2)의 응답을 통해 미시적 상호작용과 거시적 상호작용의 공통점 2가지를 도출할 수 있었다. 첫째는 상호작용의 규모가 달라지더라도 시스템의 상호작용을 구분하는 기준이 된다는 것이었다. 둘째, 시스템에 영향을 미치지 못하는 외부 구성요소 사이에 작용하는 상호작용은 “의미가 없다”는 것이다. 이는 시스템의 선택 행위에 시스템이 주체의 관심대상이라는 의미이며, 시스템 또는 외부에서 시스템에 가해지는 영향만이 유의미한 것으로 고려했기 때문이다.

연구자: 시스템을 잡는 중요한 이유 중에 하나가 내력을 계산하지 않는

요소로 만드는 것이라고 했지요?

S2: 네

연구자: 그렇다면 외력은 무엇인가요?

S2: 시스템을 잡는 순간 시스템과 주위가 구분이 되는 거잖아요. 크게 세 가지로 나눌 수 있는 것 같은데, 시스템 내부 사이에 작용하는 힘. 외부 물체 사이에 작용하는 힘. 시스템 내부의 파티클과 외부에서의 상호작용.

연구자: 그러면 계 내부와 계 외부의 물체 하나씩이 필요하겠네요?

S2: 네. 그렇네요.

연구자: 시스템을 잡는 것이 중요하겠네요?

S2: 네. 시스템을 잡았을 때 내력을 얘기할 수 있고, 외력을 얘기할 수 있을 것 같아요.

연구자: 혹시 내력과 외력과 같이 시스템을 잡아야만 이해할 수 있는 이론, 법칙, 개념들이 있나요?

S2: 외력만큼 시스템을 잡아야만 하는지 명확하지는 않은데, 열역학에서 시스템과 외부의 출입을 얘기하잖아요. 마찬가지로 시스템을 잡고... 외부에서 왔다가 갔다 하는 것은 의미가 없을 테고... 동적 평형같이...

### 3) 개념을 명확히 하는 도구로서의 시스템

기태(S4)는 여러 다양한 개념들을 명확히 하는 데 시스템이 중요한 역할을 한다고 설명했다. 그는 노란색에 대한 개념이 사람마다 다른 것처럼 개념을 객관적으로 정의하는 것의 중요하다고 생각하고 있었다. 기태(S4)는 노란색을 “초록색과 빨간색을 섞은 것”으로 생각하는 사람이 있는 반면 “단일 파장”으로 정의하는 경우가 있다고 예를 들었다. 따라서 “계(시스템)이 개념들을 명확히 하며”, “사람들이 서로 간에 말이 통



하기” 위해서 시스템을 매개로 개념을 분명히 하는 것이 필요하다고 답했다.

연구자: 과학을 배울 때 또는 물리학을 배울 때 시스템을 잘 배워야 하는 이유는 뭐라고 생각해요?

S4: 여러 가지 측면을 생각할 수 있겠는데, 그 중에 하나는 개념인 것 같아요. 자연 현상은 그 자체로 있는데, 우리가 자연 현상을 설명하기 위해서 여러 가지 개념들을 도입하잖아요? 각자 그 사람들이 갖고 있는 개념이 분명히 똑같은 걸 생각하고 있지만 얘기하다 보면 다르다. 예를 들어 “노란색을 초록색과 빨간색을 섞인 것”으로 하는 사람이 있고, 어떤 사람은 “노란색은 단일파장이지”와 같이 사람마다 갖고 있는 개념이 다른데, 그 계에 대해서도 사람들마다 생각이 다를 것 같아요. 온도, 전자기 등에 대한 여러 개념들이 다른데, 이런 계라는 것이 개념들을 명확히 해 줄 수 있을 것 같아요. 그래서 사람들이 서로 간에 말이 통하려면 서로 생각하는 게 똑같아야 하니까 계라는 것이 열통계에서 중요한 것 같아요.

연결된 연구자의 질문에 대해 기태(S4)는 개념을 분명히 하기 위한 요소들을 설명했다. 그는 “(개념을 명확히 하기 위해서는) 계(시스템) 하나만으로 부족하고, 상호작용과 에너지가 필요”하다고 부연 설명했다. 이는 연구자가 시스템 기반 이해(SBU)의 속성들로 제시한 요소들로, 시스템의 상호작용, 경계 짓기와 관련된 설명으로 해석할 수 있다.

또한 기태(S4)는 시스템을 중심으로 개념을 명확히 하는 것이 중등 교육에서도 중요하며 이를 가르치는 교사도 시스템에 기반 한 개념 이해의 필요성을 강조했다.

연구자: 계가 개념들을 명확히 해 주는 데 중요하다고 했는데, 예를 들어 어떤 개념이 그런 역할을 하나요?

S4: 계 하나만으로는 부족하고, 계, 상호작용, 에너지 이렇게 했을 때. 예를 들면 말 그대로 열 같은 거는 어떤 사람은 물체의 뜨거운 정도지. 어떤 사람은 에너지를 주고 받은 거를 열이라고 하지. 그럼 열을 자체로 생각하는 사람도 있고 에너지의 이동이라고 생각하는 사람도 있는데, 어. 그런 거를 명확하게 규정할 때 무엇을 계라고 할 것인가? 입자들 간의 모임? 아니면 상호작용은 입자들인 무언가를 주고 받은 것을 상호작용이라고 하는가. 에너지는 또 그 입자들이 갖는 운동량의 총합이라던가 뭐라든가 할 때, 계라는 것이 빠지는 것을 본 적이 없어요. 사실 열통계에서 많이 다뤘기 때문에 다른 데에서는 어떻게 정의될 수 있는지에 대해서는 생각해 봐야 할 것 같긴 한데, 입자들을 다룬 이상 보니까 중학교 교과서에서 열과 관련된 계 나와요. 온도, 열평형 이 나오는데 오개념을 갖고 있으면 큰일 나잖아요. 교사들에게도 명확하게 계라는 개념을 갖고 설명할 필요가 있겠죠

#### ④ 시스템과 그 구성요소의 물리적 상태를 추정

##### 1) 공간에 대한 해석의 틀로서의 시스템

경식(S1)은 “내가 보고자 하는 물체가 존재하는 공간에 대한 해석”을 시스템으로 이해하고 있었다. 그는 시스템을 통해 관찰하고자 하는 대상이 “돌아가는 원리”를 설명할 수 있다고 생각했다. 연구자는 그가 사용하는 ‘원리’가 무엇이고 ‘해석과 어떤 관계가 있는지에 대해서 되물었다. 경식(S1)은 자신의 생각을 정리하면서 ‘완전한 원리’라는 표현을 사용하였다. 즉, 그는 정답에 가까운 것을 원리라고 생각하고 있었다. 그리고 ‘해석’과 ‘원리’는 다른 것이라고 강조하였다. 시스템을 이해하는 것은 “

다른 사람의 해석을 가져와서 자신의 해석을 하는 것”이며, 원리와 같이 완벽한 정답은 과학에서 가능하지 않다고 생각하기 때문이었다.

또한 시스템을 해석한다는 것은 “순수하게 자신의 해석”만으로는 가능한 것이 아니라 “다른 사람의 이론을 가져와서” 해석하는 것이라고 설명했다. 이 때 경식(S1)이 말한 이론은 “다른 사람의 해석”이었으며, 그의 생각에 따르면 다른 사람의 시스템 해석 또는 시스템 그 자체였다. 그러나 시스템에 대한 해석이 주관적인 측면에서만 의미를 갖는 것이 아니라 “다른 사람의 공감을 얻을 수” 있는 객관적인 측면도 갖추어야 한다고 설명하였다.

연구자: (앞에서) 내가 보고자 하는 물체가 존재하는 공간에 대한 해석을 시스템이라고 했습니다. 시스템을 이해한다는 것은 무엇을 안다는 것인가요?

S1: 그 시스템이 돌아가는 원리에 대해서 잘 설명할 수 있다는 거요.

연구자: 지금 원리라는 말을 처음 사용했는데요. 시스템을 안다는 것을 원리를 포함하여 다시 설명하면 어떻게 되나요?

S1: 그러니까 원리라는 말이 조금 애매할 수도 있는데, 어쨌든 저는 과학하는 것이 일종의 해석이지 완전히 정답은 아니라고 생각하기 때문에, 이게 시스템에 대한 해석을 하는 것이 완전한 원리를 아는 것은 아니라고 생각해요. 사람들이 모두 공감할 수 있는 해석이 원리에 가깝다고 생각해요.

연구자: 그렇다면 원리라는 말을 다르게 사용할 수도 있겠네요?

S1: 음... 그럼 합리적인 설명?

연구자: 그럼, 정답 또는 원리, 합리적 설명 이런 것들이 절대적인 진리에 가까운 것이고 시스템을 이해한다는 것은 해석에 가까운 것인가요?

S1: 네.

연구자: 그럼 다시 물어볼게요. 시스템을 이해한다는 것은 무엇인가요?

S1: 잘 해석하는거요.

연구자: 그렇다면 시스템을 이해하는 것도 해석이고 (앞의 시스템에 대한 설명에서) 시스템도 해석이라고 했는데요.

S1: 네. 다른 사람들이 공감하면 해석인 것 같아요. 이 정도면 충분한 설명이지 않느냐 지금 기술로는 딱히 반박할 수 없는 것이 (해석인 것 같아요).

연구자: 그렇다면 우리는 어떤 방법으로 해석할 수 있나요?

S1: 이것도 좀 애매한데. 어쨌든 해석이고, 과학의 이론들이 다 일종의 해석이기 때문에. 어쨌든 다른 사람들의 해석을 가져다가 (다른 사람들이) 해석한다고 생각해요.

연구자: 순수하게 내 것은 없다는 건가요?

S1: 만들 수야 있겠지만 기본적으로는 누군가의 영향을 받은 거지요.

연구자: 그렇다면 시스템을 이해한다는 것은 다른 사람의 해석을 갖고 와서 물체를 해석하는 것인가요?

S1: 네.

#### 4.3.4. 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건

본 연구는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건을 제안한다(그림 4.5). 예비연구는 예비교사들의 문제풀이 과정을 분석하여 3가지 요소가 문제풀이에서 중요한 요소임을 도출하였다. 첫째, 유체로 구성된 시스템의 구성요소의 특징 이해와 제한조건을 파악해야 한다. 둘째, 유체 시스템에 작용하는 유효한 상호작용을 평가해야 한다. 셋째, 이 두 요소를 고려하여 시스템의 구성요소의 상태를 해석해야 한다.

예비연구의 결과를 보완하여 수행된 본 연구에서는 보존법칙을 적용한 문제풀이 과정에서 나타난 시스템과 관련된 추가 요소를 도출하였다. 본 연구를 통해 시스템과 주위의 경계 짓기가 물리적 상황 이해의 중요한 요소임을 확인할 수 있었다. 본 연구의 문제풀이 과정을 통해 4가지 요소를 추출하였다. 첫째, 마찰력의 유무, 이상기체, 이상유체의 조건과 같이 제시된 물리적 상황에 대한 제한조건과 구성요소의 특징을 파악해야 한다. 둘째, 적용해야 하는 보존법칙에 적합한 시스템과 주위의 경계를 명확히 해야 한다. 셋째, 시스템의 경계를 통해 구분되거나 작용하는 상호작용들인 내력과 외력, 열, 열역학적 일, 압력, 에너지 등을 이해해야 한다. 넷째, 해석하고자 하는 시스템 또는 시스템의 구성요소에 유효한 상호작용을 고려하여 대상의 상태를 해석해야 한다.

또한 심층면담에서도 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 요소들이 추출되었다. 첫째, 예비교사들은 구성요소의 특성과 제한조건 파악이 시스템에 대한 해석에서 중요하다고 설명하였다. 둘째, 예비교사들은 문제풀이 또는 탐구의 목적에 따라 시스템의 경계가 결정되며 선택된 시스템에 따른 다른 해석이 가능하다고 설명하였다. 셋째, 예비교사들은 시스템을 기준으로 정의되는 상호작용하는 물리량에 대한 이해와 함께

시스템에 유효하게 작용하는 상호작용의 추출의 중요성을 강조하였다.

따라서 본 연구에서는 제시된 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 (system-based understanding)의 4가지 조건을 제안한다. 첫째, 제시된 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 안다 (배경 상황의 파악). 둘째, 고려하고 있는 법칙과 원리가 적용되는 구성요소를 선택할 수 있다 (경계의 명료화). 셋째, 외부와의 유효한 상호작용을 선별하고 그 효과를 파악할 수 있다 (상호작용의 평가). 넷째, 시스템과 그 구성요소의 물리적 상태를 추정할 수 있다 (시스템 상태의 추정).

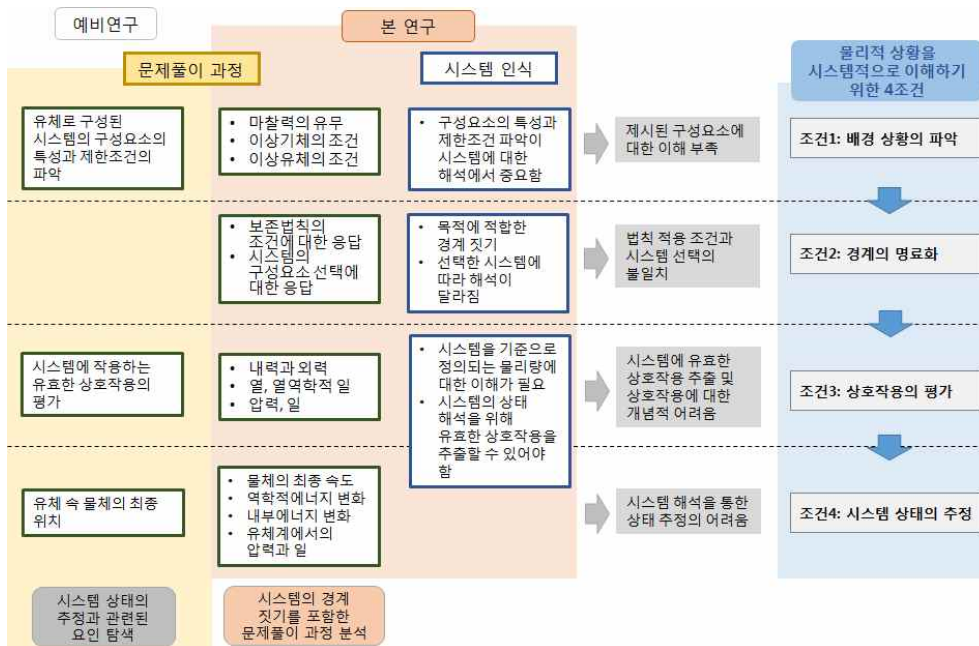


그림 4.5 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건(system-based understanding)

#### 4.4. 결론 및 시사점

본 연구는 1) 예비교사들은 시스템을 어떻게 인식하고 2) 문제풀이 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건을 살펴보는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 서울 소재 사범대학 물리교육 전공 학부생을 연구대상으로 선정하였다. 연구는 설문과 심층면담으로 수행되었으며, 설문에 참여한 63명과 면담에 참여한 6명의 응답을 분석하였다.

설문 문항은 개방형 설문지로 개방형 설문지로 연구자가 자체 개발하였으며 다음과 같이 구성되었다. 먼저, 설문 문항은 ① 시스템의 정의와 분류 ② 보존법칙의 적용 조건 ③ 문제풀이에서 사용한 시스템의 구성요소 선택 기준 ④ 문제풀이 과정에서 나타난 시스템 내부와 외부의 상호작용 이해 ⑤ 시스템과 그 구성요소의 상태를 추정하는 문항으로 구성되었다. 또한 면담을 통해서는 시스템에 대한 예비교사들의 심층적 이해를 살펴보기 위해서 ① 시스템에 대한 이해(정의, 배경 상황의 파악, 경계의 명료화, 상호작용의 평가, 시스템 상태의 추정) ② 물리학 및 과학에서 시스템 개념의 중요성 ③ 물리교육에서의 학습에서 시스템 개념의 중요성에 관해 질문하였다.

본 장에서는 연구 결과를 시스템의 정의, 배경 상황의 파악, 경계의 명료화, 상호작용의 평가, 시스템 상태의 추정을 중심으로 논의하도록 하겠다.

첫째, 예비교사들의 시스템에 대한 설명에서는 공간(31.1%), 물질(24.4%), 관찰(13.3%), 상호작용(8.9%) 순으로 핵심어가 사용되었다. 이는 선행 연구에서 부분들(parts), 집합(group), 상호작용(interaction), 기능(function)을 중심으로 시스템을 분류한 것과는 차이가 있었다. 그러나 설문 과정에서 대부분의 예비교사들이 하나의 문장으로 시스템을 정의하

고자 하였기 때문에 그들이 생각하는 시스템을 깊이 있게 설명하지 못했다고도 분석할 수 있다. 따라서 심층적인 면담을 추가적으로 수행하였다.

후속 연구로 진행된 면담을 통해서 예비교사들이 생각하는 시스템에 대해 자세히 살펴볼 수 있었다. 면담을 통해 드러난 시스템에 대한 예비교사들의 이해는 다음과 같은 특징이 있었다. 대부분의 예비교사들은 시스템을 물질과 에너지의 모임으로 설명하였으나, 시스템의 기능을 부각하여 설명한 응답도 나타났다. 물질의 모임으로 시스템이 구성된다고 설명한 예비교사는 홍기(S2), 기태(S4), 성수(S6)였다. 홍기(S2)는 ‘시스템은 여러 입자들의 모임’, 기태(S4)는 ‘시스템은 자연을 이루는 여러 가지 요소들의 집합’, 성수(S6)는 ‘공통된 관점을 이용해서 인지하고자 하는 것들의 묶음’으로 설명하였다. 이들은 ‘물질의 모임’으로서의 시스템 개념을 강조하였다.

반면, 경식(S1)은 ‘시스템은 공간에 대한 해석’, 태현(S3)은 ‘확연히 달라지는 구역’, 규철(S5)은 ‘물질과 에너지가 이동하는 경계’로 설명하였다. 즉, 경식(S1), 태현(S3), 규철(S5)은 ‘물질의 모임’을 해석하는 방식, ‘물질의 모임’에 영향을 주는 법칙에 따른 구역화, ‘물질의 모임’이 이동하는 경계로 시스템을 정의했다. 이는 예비교사들이 시스템의 경계 짓기를 ‘주체의 의도 또는 목적’과 관련하여 설명한 것이며, 시스템의 기능까지 고려하여 설명한 것으로 분석된다.

둘째, 문제풀이에서 나타난 시스템의 구성요소의 선택에서는 다음과 같은 특징이 나타났다. 예비교사들은 보존법칙 적용 조건에 적합한 구성요소를 선택하기 보다는 관찰대상 또는 최종적인 물리량을 계산하고자 하는 물체와 상호작용하는 물체들을 시스템의 구성요소로 선택하였다. 예를 들어, 예비교사들은 설문에서 선운동량 보존법칙과 역학적에너지 보존법칙이 적용되기 위해 알짜 외력의 합이 0이어야 한다고 설명했지만, 문제풀이 과정에서 시스템을 선택할 때 그 조건에 적합하도록 시스



템의 구성요소를 선정하고 외부와 구분하지 않았다. 이는 시스템의 구성 요소 선택과 경계 짓기와 보존법칙 적용이 유기적으로 연결되어 이해하지 못한다고 해석할 수 있다.

셋째, 상호작용에 대한 이해는 ‘경계 짓기’와 긴밀히 관련되었다. 홍기(S2)는 “시스템을 잡는 순간” 시스템과 외부가 구분되며, 시스템 ‘잡기’에 의해 시스템 내부에서의 상호작용, 시스템 외부에서의 상호작용, 시스템과 주위의 상호작용이 구분된다고 설명했다. 이러한 구분은 그들이 내력과 외력을 구분하거나 경계를 통한 에너지의 이동을 설명하는 데 중요한 역할을 했다. 예비교사들은 문제 상황에 따라 적용해야 하는 보존법칙의 종류와 물리량이 변하여도 시스템과 주위의 경계 짓기를 공통적으로 사용했다.

그렇지만 시스템의 경계 짓기를 하더라도 알아내고자 하는 목표 물리량에 따라 상이한 결과가 도출되기도 하였다. 비교를 위해 역학적에너지와 내부에너지의 변화 묻는 문항을 개발하였다(설문지 B-4,(1), 4.(2), 4.(3)). 역학적에너지와 내부에너지는 시스템 내부의 운동에너지와 퍼텐셜에너지의 합으로 정의된다. 그러나 내부에너지의 경우, 시스템 내부의 기체 분자들의 운동에너지와 퍼텐셜에너지를 계산하는 것이 쉽지 않기 때문에 측정 가능한 상호작용인 일과 열의 이동을 통해 정의된 열역학 제 1법칙을 통해 계산된다.

설문지 B의 4번 문항은 외력이 작용하는 동일한 조건에서 시스템 내부의 에너지 변화를 묻고 있다. 해당 문항은 3개의 하위 문항으로 구성되며 각 하위 문항은 (1) 역학적에너지 변화 (2) 단열계에서의 내부에너지 변화 (3) 비단열계에서 내부에너지 변화이다. (1)번 문항에서 대다수의 예비교사들은 역학적에너지가 증가한다고 응답했으며(79.2%), 일정하다는 의견이 소수(8.7%)가 있었다. 반면 (2)번 문항에서 단열계에서의 내

부에너지가 증가한다는 응답은 17.6%, 일정하다는 응답은 23.3%였으며, 감소한다는 응답이 47.1%로 가장 많았다.

이와 같이 역학적에너지와 내부에너지의 변화에 대한 예비교사들의 응답이 차이는 시스템의 경계 짓기에서 이유를 찾을 수 있었다. 첫째, 예비교사들은 기체와 피스톤을 하나의 시스템으로 선택하고 내부에너지 변화를 이해했다. 동일하게 외력이 작용했을 때 역학적에너지가 일정하다고 응답은 없었던 반면, 약 20%의 예비교사들이 내부에너지가 일정하다고 응답한 이유는 외력에 의한 피스톤의 운동에너지를 내부에너지에 포함하여 생각했기 때문이었다. 둘째, 외력에 의한 시스템의 경계 확장의 주체에 대한 관점의 차이가 서로 다른 응답을 가져왔다. 이에 대해 예비교사들은 시스템의 경계 확장의 주체를 기체로 생각했을 때 내부에너지가 감소한다고 설명한 반면, 피스톤에 작용한 외력에 의해 기체가 포함된 시스템의 부피가 확장되었기 때문에 내부에너지가 증가했을 것이라는 상반된 이해가 나타났다. 위의 결과를 토대로 시스템 내부의 에너지에 대한 개념은 구성요소 선택과 경계 짓기와 관련하여 이해할 필요가 있으며, 일 개념과 같이 경계를 통해 이동하는 개념의 주체에 대한 학습에서 주의를 기울여야 한다는 것을 시사한다.

이와 유사하게 내력과 외력의 구분에서 시스템의 경계 짓기는 개념 이해 및 학습에서 중요하게 다뤄질 필요가 있다. 문제풀이 과정에서 시스템의 규정 여부가 내력과 외력 구분에 영향을 주었으며, 문제풀이를 거치며 내력과 외력의 정의가 수정되기도 하였다. 문제풀이 전에 내력과 외력을 정확히 구분했던 학생이 시스템을 규정하지 않고 문제를 해결하는 과정에서 내력과 외력을 잘못 분류하는 어려움을 겪었다.

게다가 시스템의 안과 밖에서 작용하는 힘으로 내력과 외력을 구분했

던 예비교사가 힘의 상쇄 여부와 물체의 운동에 영향 여부로 문제풀이에서는 다르게 정의했다는 것에 주목할 필요가 있다. 이는 동일한 개념일지라도 개념의 이해와 적용에서 강조하는 포인트가 다를 수 있음을 보여주는 결과이다. 즉, 전자가 시스템을 중심으로 상호작용하는 물리량의 정의라면, 후자는 왜 시스템을 중심으로 물리량을 구분해야 하는지에 대한 이유를 설명해 줄 수 있다. 이는 시스템의 경계 짓기를 통한 구분과 필요성이 함께 고려된 학습의 필요성을 보여준다.

넷째, 시스템의 해석에서 시스템의 구성요소와 경계의 특성 이해와 그것을 토대로 경계를 출입하는 물리량이 이해되어야 한다. 설문지 B의 6번 문항은 이상유체가 단면적이 달라지는 관을 흐를 때의 에너지 보존을 묻는 문항으로 면적에 따른, 유체의 속도 비교, 유체계의 경계에 작용하는 압력 비교, 유체계가 받은 일과 한 일을 비교하는 문항으로 구성되었다. 대부분의 예비교사들이 면적이 작은 곳을 흐르는 유체의 속도가 증가함을 공식으로 유도하여 설명하였지만, 압력이 단면적을 지나는 유체의 양과 비례한다고 생각하였다. 이는 물체의 단면에 작용하는 유체의 충돌에 의한 힘과 단면적의 관계로 유도되는 압력과 열린계의 경계에 작용하는 압력을 동일하게 이해하였기 때문이다. 해당 문제는 유체계의 두 경계에서의 에너지 변화의 관점으로 압력이 이해되어야 한다. 이 때 압력의 크기는 에너지 변화는 3가지 일(일-운동에너지 정리, 압력에 의한 부피 변화, 일에 의한 위치에너지 변화)을 모두 고려하여 계산해야 한다.

이어지는 유체계의 경계에서 압력에 의한 일의 크기를 비교하는 문항도 유체계에 출입하는 일에 의한 에너지 변화를 묻는 문항이다. 압력에 의한 일의 크기를 이해하기 위해서는 일-운동에너지 정리에 의해 압력의 변화량을 계산하고, 서로 다른 압력이 동일한 부피를 변화시킬 때의 일의 크기를 비교해야 한다. 그러나 50%의 예비교사들은 ‘에너지가 보존

되어야 하기 때문에’, ‘직관적으로 같음’, ‘통과하는 유체의 양이 같아 압력이 같음’ 등의 이유로 두 일의 크기가 같다고 응답했다. 또한 앞에서 설명한 것과 같이 이 문항에서는 압력의 크기 비교하는 것이 선행되어야 하지만 예비교사들의 흐르는 유체에서의 압력에 대한 부정확한 이해가 일의 크기 변화를 설명할 때도 영향을 주었다.

본 연구에서는 제시된 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기(system-based understanding)의 4가지 조건을 제안한다. 첫째, 제시된 배경 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 안다 (배경 상황의 파악). 둘째, 고려하고 있는 법칙과 원리가 적용되는 구성요소를 선택할 수 있다 (경계의 명료화). 셋째, 외부와의 유효한 상호작용을 선별하고 그 효과를 파악할 수 있다 (상호작용의 평가). 넷째, 시스템과 그 구성요소의 물리적 상태를 추정할 수 있다 (시스템 상태의 추정).

경계 짓기는 시스템의 구성요소, 시스템에 작용하는 상호작용, 시스템의 상태 추정과 긴밀히 연결되는 관찰자의 행위로, 이를 고려한 학습이 과학교육에 여러 측면에서 시사점을 줄 것으로 기대한다. 특히 물리적 상황의 시스템적 이해는 시스템의 경계의 명료화가 핵심 역할을 한다. 첫째, 시스템의 경계의 선택은 지속적으로 목적 달성에 적합한 경계의 다양한 탐색 시도에 관여한다. 둘째, 시스템의 경계는 시스템과 주위, 하위 시스템 간, 시스템의 구성요소 간의 상호작용을 구분하는 역할을 한다. 셋째, 제시된 문제 상황의 해석은 시스템의 경계 내부에서 상태 해석이므로 시스템의 경계에 따라 법칙의 적용이 결정되고 해석 또한 달라질 수 있다.

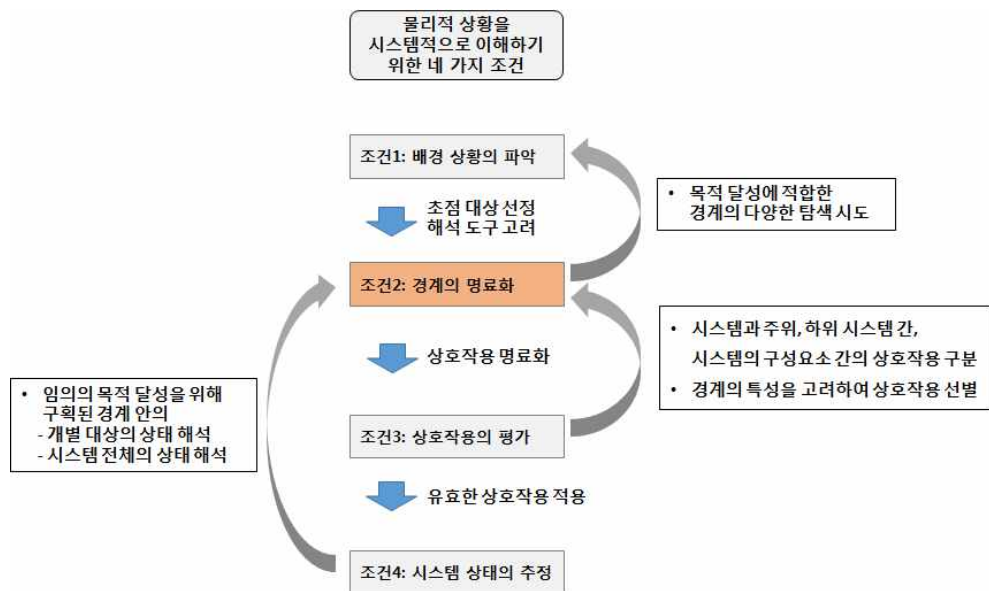


그림 4.6 시스템적으로 이해하기의 핵심 조건인 ‘경계의 명료화’

## 5. 요약 및 결론

### 5.1 요약 및 결론

브루너의 지식의 구조는 “한 사물을 엮어매고 있는 요소 또는 그 요소가 엮혀 있는 모양”이다. 지식의 구조뿐만 아니라 교과에도 구조가 존재하며, 교과의 구조는 개념 또는 매개체를 중심으로 구성할 수 있다. 교과의 학습은 교과의 구조를 파악하고 수행될 때 효율적이며 교과의 정수를 학습할 수 있다.

시스템은 물리학을 비롯한 여러 과학교과의 개념들의 핵심 고리 역할을 하며, 과학의 주요 개념인 에너지, 물질, 구조, 기능, 안정성, 변화 등과 긴밀히 연결되어 있다. 과학자들은 연구 목적에 적합한 시스템을 스스로 규정하고 연구 결과로부터 도출된 해석에 사용되며, 학습에서는 학생들의 개념 발달 및 통합적 사고 발달에 기여한다.

본 연구는 물리학의 이해와 보존법칙 문제풀이를 중심으로 예비교사들의 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 4가지 조건으로 배경상황의 파악, 경계의 명료화, 상호작용의 평가, 시스템 상태의 추정을 제안하였다. 교과의 골격으로서의 매개체인 시스템은 대상의 선정과 인식, 시스템과 주위의 경계 짓기를 통한 상호작용 이해, 해석 단계에서의 시스템의 기능과 관련된다. 이에 대한 근거는 예비교사들의 시스템에 대한 인식과 보존법칙 문제풀이 과정을 통해 도출하였다.

선행 연구 분석을 토대로 본 연구는 시스템적의 이해를 시스템의 ‘선택과 적용’이라는 두 측면에서 접근하였다. 시스템의 선택은 ‘시스템의 구성요소’와 시스템과 주위 또는 시스템과 다른 시스템을 구분하는 ‘경계

짓기'와 관련된다. 시스템의 적용은 시스템을 기준으로 한 '상호작용'과 '시스템 상태의 추정'과 관련된다.

예비연구는 물리적 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건의 일부인 '배경 상황의 파악'과 '상호작용의 평가'에 대한 탐색 단계로 수행되었다. 예비연구의 자료 수집은 서울 소재 사범대학에 재학 중인 물리교육 전공자 40명을 대상으로 2012년 9월 첫째 주와 둘째 주에 걸쳐 실시하였다. 연구 참여자들은 학부 과정 2학년에서 4학년 예비교사들로 구성되었으며 모두 일반 물리학 이상의 강좌를 수강한 경험이 있었다. 예비연구의 분석 결과, 문제에서 제시된 상황의 구성요소들의 특성과 제한조건을 파악하고 시스템에 작용하는 상호작용이 중요한 요소로 나타났다. 그러나 예비교사들은 시스템 내부의 구성요소의 물리적 특성에 따른 다양한 변수들을 추출하고 적용할 때 어려움을 겪었다. 이는 문제 상황에서의 '탐구 대상 선정 → 탐구 대상의 특성 파악 → 시스템과 외부의 경계 짓기 → 시스템 내부의 구성요소에 작용하는 상호작용 추출 및 적용'의 단계로 접근하지 못했기 때문이다. 또한 한 현상을 다수의 하위 시스템으로 구분하고 접근하기 보다는 하나의 시스템으로 분석하는 경향이 나타났다. 이는 물리적으로 확연히 구분되는 경계뿐만 아니라 하위 시스템 간의 상호작용으로 현상을 분석하는 학습을 시사한다.

그러나 예비연구가 시스템적으로 이해하기 위한 조건을 전체적으로 살펴보지 않았으며, 예비교사들이 생각하는 시스템의 경계 짓기와 시스템 상태의 추정을 명시적으로 드러내는 도구로서는 부족함이 있었다. 따라서 본 연구에서는 주제를 보존법칙 상황으로 제한하고, 각 조건을 구체적으로 살펴볼 수 있는 연구를 수행하였다. 본 연구는 설문과 심층면담으로 구성된다. 설문 참여자들은 서울 소재 사범대학에서 물리교육을 전공하는 학부생 63명이었다. 설문은 2014년 11월 말에서 12월 초까지

총 4회에 걸쳐 실시하였으며, 참여자들은 모두 일반물리학 수준 이상의 물리학 강좌를 수강한 경험이 있었다. 또한 2015년 7월에서 8월까지 6명의 물리교육 전공 학부생을 대상으로 1시간 이상의 심층면담을 수행하였다.

첫째, 예비교사들의 시스템에 대한 설명에서는 공간(31.1%), 물질과 에너지(24.4%), 관찰(13.3%), 상호작용(8.9%) 순으로 핵심어가 사용되었다. 이는 선행 연구에서 부분들(parts), 집합(group), 상호작용(interaction), 기능(function)을 중심으로 시스템을 분류한 것과는 차이가 있었다. 그러나 설문 과정에서 대부분의 예비교사들이 하나의 문장으로 시스템을 정의하고자 하였기 때문에 그들이 생각하는 시스템을 깊이 있게 설명하지 못했다고도 분석할 수 있다. 따라서 심층적인 면담을 추가적으로 수행하였다.

후속 연구로 진행된 면담을 통해서 예비교사들이 생각하는 시스템에 대해 자세히 살펴볼 수 있었다. 면담을 통해 드러난 시스템에 대한 예비교사들의 이해는 다음과 같은 특징이 있었다. 대부분의 예비교사들은 시스템을 물질과 에너지의 모임으로 설명하였으나, 시스템의 기능을 부각하여 설명한 응답도 나타났다. 물질의 모임으로 시스템이 구성된다고 설명한 예비교사는 ‘시스템은 여러 입자들의 모임’, ‘시스템은 자연을 이루는 여러 가지 요소들의 집합’, ‘공통된 관점을 이용해서 인지하고자 하는 것들의 묶음’으로 설명하였다. 반면, 시스템의 경계 짓기를 ‘주체의 의도 또는 목적’과 관련하여 설명하거나 시스템의 기능을 강조한 예비교사들도 있었다. 이들은 ‘시스템은 공간에 대한 해석’, ‘확연히 달라지는 구역’, ‘물질과 에너지가 이동하는 경계’로 설명하였으며, ‘물질의 모임’을 해석하는 방식, ‘물질의 모임’에 영향을 주는 법칙에 따른 구역화 등으로 주체의 목적을 강조하였다.



둘째, 문제풀이에서 나타난 시스템의 구성요소의 선택에서는 다음과 같은 특징이 나타났다. 예비교사들은 보존법칙 적용 조건에 적합한 구성요소를 선택하기 보다는 관찰대상 또는 최종적인 물리량을 계산하고자 하는 물체와 상호작용하는 물체들을 시스템의 구성요소로 선택하였다. 예를 들어, 예비교사들은 설문에서 선운동량 보존법칙과 역학적에너지 보존법칙이 적용되기 위해 알짜 외력의 합이 0이어야 한다고 설명했지만, 문제풀이 과정에서 시스템을 선택할 때 그 조건에 적합하도록 시스템의 구성요소를 선정하고 외부와 구분하지 않았다. 이는 시스템의 구성요소 선택과 경계 짓기와 보존법칙 적용이 유기적으로 연결되어 이해하지 못한다고 해석할 수 있다.

셋째, 상호작용에 대한 이해는 ‘경계 짓기’와 긴밀히 관련되었다. “시스템을 잡는 순간” 시스템과 외부가 구분되며, 시스템 ‘잡기’에 의해 시스템 내부에서의 상호작용, 시스템 외부에서의 상호작용, 시스템과 주위의 상호작용이 구분된다고 설명했다. 이러한 구분은 그들이 내력과 외력을 구분하거나 경계를 통한 에너지의 이동을 설명하는 데 중요한 역할을 했다. 예비교사들은 문제 상황에 따라 적용해야 하는 보존법칙의 종류와 물리량이 변하여도 시스템과 주위의 경계 짓기를 공통적으로 사용했다.

그렇지만 시스템의 경계 짓기를 하더라도 알아내고자 하는 목표 물리량에 따라 상이한 결과가 도출되기도 하였다. 운동에너지와 퍼텐셜에너지의 합으로 정의되는 두 에너지인 역학적에너지와 내부에너지의 변화에 대한 예비교사들의 응답은 시스템의 경계 짓기에서 어려움의 원인을 찾을 수 있었다. 첫째, 예비교사들은 기체와 피스톤을 하나의 시스템을 선택하고 내부에너지 변화를 이해했다. 동일하게 외력이 작용했을 때 역학적에너지가 일정하다고 응답은 없었던 반면, 약 20%의 예비교사들이 내부에너지가 일정하다고 응답한 이유는 외력에 의한 피스톤의 운동에너지

를 내부에너지에 포함하여 생각했기 때문이었다. 둘째, 외력에 의한 시스템의 경계 확장의 주체에 대한 관점의 차이가 서로 다른 응답을 가져왔다. 이에 대해 예비교사들은 시스템의 경계 확장의 주체를 기체로 생각했을 때 내부에너지가 감소한다고 설명한 반면, 피스톤에 작용한 외력에 의해 기체가 포함된 시스템의 부피가 확장되었기 때문에 내부에너지가 증가했을 것이라는 상반된 이해가 나타났다. 위의 결과를 토대로 시스템 내부의 에너지에 대한 개념은 구성요소 선택과 경계 짓기와 관련하여 이해할 필요가 있으며, 일 개념과 같이 경계를 통해 이동하는 개념의 주체에 대한 학습에서 주의를 기울여야 한다는 것을 시사한다.

이와 유사하게 내력과 외력의 구분에서 시스템의 경계 짓기는 개념 이해 및 학습에서 중요하게 다뤄질 필요가 있다. 시스템의 안과 밖에서 작용하는 힘으로 내력과 외력을 구분했던 예비교사가 힘의 상쇄 여부와 물체의 운동에 영향 여부로 문제풀이에서는 다르게 정의했다는 것에 주목할 필요가 있다. 이는 동일한 개념일지라도 개념의 이해와 적용에서 강조하는 포인트가 다를 수 있음을 보여주는 결과이다. 즉, 전자가 시스템을 중심으로 상호작용하는 물리량의 정의라면, 후자는 왜 시스템을 중심으로 물리량을 구분해야 하는지에 대한 이유를 설명해 줄 수 있다. 이는 시스템의 경계 짓기를 통한 구분과 필요성이 함께 고려된 학습의 필요성을 보여준다.

넷째, 시스템의 해석에서 시스템의 구성요소와 경계의 특성 이해와 그것을 토대로 경계를 출입하는 물리량이 이해되어야 한다. 유체계 문제풀이에서 대부분의 예비교사들이 면적이 작은 곳을 흐르는 유체의 속도가 증가함을 공식으로 유도하여 설명하였지만, 압력이 단면적을 지나는 유체의 양과 비례한다고 생각하였다. 이는 물체의 단면에 작용하는 유체의 충돌에 의한 힘과 단면적의 관계로 유도되는 압력과 열린계의 경계에

작용하는 압력을 동일하게 이해하였기 때문이다. 해당 문제는 유체계의 두 경계에서의 에너지 변화의 관점으로 압력이 이해되어야 한다. 이 때 압력의 크기는 에너지 변화는 3가지 일(일-운동에너지 정리, 압력에 의한 부피 변화, 일에 의한 위치에너지 변화)을 모두 고려하여 계산해야 한다.

이어지는 유체계의 경계에서 압력에 의한 일의 크기를 비교하는 문항도 유체계에 출입하는 일에 의한 에너지 변화를 묻는 문항이다. 압력에 의한 일의 크기를 이해하기 위해서는 일-운동에너지 정리에 의해 압력의 변화량을 계산하고, 서로 다른 압력이 동일한 부피를 변화시킬 때의 일의 크기를 비교해야 한다. 그러나 50%의 예비교사들은 ‘에너지가 보존되어야 하기 때문에’, ‘직관적으로 같음’, ‘통과하는 유체의 양이 같아 압력이 같음’ 등의 이유로 두 일의 크기가 같다고 응답했다. 또한 앞에서 설명한 것과 같이 이 문항에서는 압력의 크기 비교하는 것이 선행되어야 하지만 예비교사들의 흐르는 유체에서의 압력에 대한 부정확한 이해가 일의 크기 변화를 설명할 때도 영향을 주었다.

결론적으로 예비교사들은 시스템에 대해 다양한 설명이 나타났으며, 이는 전체 구성요소의 특성 파악, 경계 짓기, 상호작용, 시스템의 상태 추정이 혼합된 형태를 보였다. 또한 문제풀이를 통해 경계 짓기가 시스템 기반 이해의 속성 중에서 핵심적인 역할을 하였다. 경계 짓기는 시스템의 구성요소, 시스템에 작용하는 상호작용, 시스템의 상태 추정과 긴밀히 연결되는 관찰자의 행위로, 이를 고려한 학습이 과학교육에 여러 측면에서 시사점을 줄 것으로 기대한다.

종합해 보면, 예비교사들은 시스템을 다양한 측면에서 서술하거나 시스템에 대해 명확하게 대답하지 못하였지만, 물리학의 대상이 되는 물체

및 현상과 그것을 다루는 방법에 대해서 그들 자신의 생각을 확립하고 있었다. 그 생각은 물리학을 바라보고 해석하는 관점이며 사고방식일 가능성이 내포한다. 또한 교과와 구조로서의 시스템은 특정 개념과 밀접히 관련되며 범용성을 갖췄다는 점에서도 가치가 있다.

## 5.2 제언 및 후속 연구 과제

본 연구를 통해 얻은 시사점 및 연구의 한계점과 관련된 후속 연구를 제안하고자 한다.

물리학의 구조를 수립은 특정 물리량, 물리 개념, 탐구 과정을 통해 제안될 수도 있다. 그러나 시스템은 대부분의 물리량, 물리 개념은 물론 탐구 과정에도 관련되는 범용성을 갖추고 있다. 본 연구에서는 연구자가 제안한 시스템 기반 이해를 예비교사들을 대상으로 시스템의 이해와 문제풀이 과정에서 살펴보았다.

첫째, 교과와 구조라는 측면에서 교수자는 물리 교과와 구조를 시스템을 중심으로 구축하는 것이 선행되어야 한다. 그런 점에서 예비교사는 학습자와 교사의 중간자적 단계로 교수와 학습을 포함하는 시사점을 도출할 수 있는 대상이다. 그러나 중등과정에서 물리학을 학습하는 학생과 실제 현장에서 물리학을 가르치는 물리교사를 대상으로 수행한 연구 결과는 예비교사를 통해 도출한 연구 결과와 차이가 있을 수 있다. 따라서 본 연구의 결과를 토대로 교사와 학생을 대상으로 시스템에 대한 연구를 진행하는 것이 요구된다.

둘째, 물리학은 개념 이해와 탐구와 관련된 실천의 두 가지 측면에서 다뤄져야 한다. 본 연구는 예비교사들이 문제풀이 과정에서의 실천을 주목하였지만 실험 등의 탐구 과정에서의 실천과는 차이가 있다. 탐구 과

정에서도 탐구 목적에 따른 대상의 선택, 탐구 대상의 특성 파악, 탐구 대상과 탐구하지는 않지만 영향을 주는 주위와의 경계 짓기, 탐구하고자 하는 시스템 내부와 외부에서의 상호작용, 그리고 선택한 시스템에 대한 해석 등이 관련된 행위이다. 따라서 교과와 구조로서의 시스템을 이해하기 위해서는 탐구의 실천에 대한 연구가 요구된다.

셋째, 본 연구는 보존법칙 문제풀이에서 상황을 시스템적으로 이해하기 위한 조건을 단계별로 제시하였다. 그렇지만 보존법칙 이외에도 장(field), 시공간, 복잡계, 인과관계, 통계를 통한 시스템 이해 등 다양한 주제에서 시스템에 대해 논의할 수 있는 가능성이 있다. 물리학의 주요 개념 및 방법에 대해서도 지속적인 연구가 요구된다.

넷째, 교육과정 개발에 대한 기초 연구로서 후속 연구가 필요하다. 새로운 교육과정이 개편될 때의 중점은 특정 지식의 추가 및 삭제에 치중하고 있다. 물리학이라는 교과는 역사적으로 정립된 이론을 순차적으로 학습하거나 현 시점에서 중요하다고 판단되는 지식 또는 정보를 제공하는 것에 한정되는 것은 위험하다. 교육과정 구성의 뼈대가 무엇이 되어야 하며 어떤 방식으로 전달되어야 하는지에 대해서 장기적인 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- 강호감, 김은진, 노석구, 박현주, 손정우, & 이희순. (2007). 통합과학교육. 경기 파주: 한국학술정보.
- 권재술 등 (2012). 과학교육론. 교육과학사
- 김승곤, 김장환, 엄정인, 오히균, 최상돈 역. Schroeder 저 (2001). 열 및 통계물리학. 홍릉과학출판사, 서울. 31p
- 김은경, 최호명. (2010). 일반화된 탄동진자를 통한 선운동량과 각운동량 보존 연구. 새물리, 60(7), 702-709.
- 김지영, 박지은, 윤희정, 박은미, & 방담이. (2014). 과학과 인문학의 통합 개념 선정을 위한 델파이 연구. 한국과학교육학회지, 34(6), 549-558.
- 김익균, 박종원. (2008). 다양한 상황의 중력 문제에 대한 대학생들의 통합적 이해과정. 새물리, 56(6), 475-482.
- 김희경, 김희진. (2009). 유체에서 압력의 작용에 대한 대학생들의 개념. 새물리, 59(4), 329-335.
- 방담이, 박은미, 윤희정, 김지영, 이윤하, 박지은, ... & 이현숙. (2013). Big idea 를 중심으로 한 통합형 과학 교육과정 틀 설계. 한국과학교육학회지, 33(5), 1041-1054.
- 변태진. (2012). House model을 이용한 학생들의 물리 문제 해결 과정에 대한 이해. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 손연아, & 이학동. (1999). 연구논문: 통합과학교육의 방향 설정을 위한

- 이론적 고찰. 한국과학교육학회지, 19(1), 41-61.
- 오필석. (2007). 연구논문: 중등학교 지구과학 수업에서 과학적 모델의 활용 양상 분석: 대기 및 해양 지구과학 관련 수업을 중심으로. 한국과학교육학회지, 27(7), 645-662.
- 이재석, 이봉우. (2010). 부력에 대한 초중등 학생들의 개념 분석. 새물리, 60(2), 93-99.
- 이윤하, 윤희정, 송주연, & 방담이. (2014). 통합개념을 중심으로 한싱가포르, 캐나다와 미국의 과학교육과정 내용 요소 분석. 한국과학교육학회지, 34(1), 21-32.
- 이주현, 송진웅 (2007). 물리 전공 학생들의 엔트로피 개념에 대한 이해의 어려움. 새물리, 55(4), 182-191.
- 이홍우 (1987). 브루너 지식의 구조. 교육과학사, 서울.
- 이홍우 역 (1988). J. S. 브루너 저, Bruner 교육의 과정, 배영사, 서울.
- 장은경, 고운, 강성주 (2012). 모델링 탐구 활동에서의 대학생의 모델링 유형 분석 및 인식. 한국과학교육학회지, 32(1), 1-14.
- 정용욱, 송진웅 (2011). 에너지 및 에너지 보존 개념에 대한 존재론적 분석과 교육적 시사점, 61(9), 850-861.
- 지영래, 정용욱, 송진웅 (2016). 역학의 보존법칙 문제풀이 과정에서 나타난 대학생들의 계에 대한 이해의 특징 분석. 새물리, 출간 예정.
- American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for science literacy*. Oxford University Press.
- Beer, S. (1966). *Decision and Control*. London, Wiley.

- Checkland, P. (1981). *Systems Thinking, Systems Practice*. Chichester, Wiley
- Churchman, C. W. (1968). *The Systems Approach*. New York, Dell Publishing.
- Churchman, C. W. (1971). *The Design of Enquiring Systems*. New York, Basic Books.
- Churchman, C. W. (1979). *The Systems Approach and its Enemies*. New York, Basic Books.
- Danusso, L., Testa, I., & Vicentini, M. (2010). Improving prospective teachers' knowledge about scientific models and modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871-905.
- Fogarty, R. (1991). Ten ways to integrated curriculum. *Educational Leadership*, 49(2), 61-65.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.
- Hall, A. D. (1962). *A methodology for systems engineering*. N.Y., Van Nostrand Reinhold.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2010). *Fundamentals of physics extended* (Vol. 1). John Wiley & Sons.
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9),



1019-1041.

Halloun, I. A. (2007). *Modeling theory in science education* (Vol. 24). Springer Science &Business Media.

Khan, S. (2007). Model-based inquiries in chemistry. *Science Education*, 91(6), 877-905.

Klir, G. J. (1991). *Facets of systems science*. New York, Plenum Press.

Kohnle, A., Baily, C., Campbell, A., Korolkova, N., & Paetkau, M. J. (2015). Enhancing student learning of two-level quantum systems with interactive simulations. *American Journal of Physics*, 83(6), 560-566.

Lee, M. G. (2014). Characteristics and Trends in the Classifications of Scientific Literacy Definitions. [Characteristics and Trends in the Classifications of Scientific Literacy Definitions]. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 34(2), 55-62.

Lutgens, F. K., & Tarbuck, E. J. (2008). *Foundations of Earth Science*. Ediz. Internazionale. Per Le Scuole Superiori. Con CD-ROM. Pearson Prentice Hall.

Mingers, J. (2006). *Realising Systems Thinking: Knowledge and Action in Management Science: knowledge and action in management science* (Vol. 14). Springer Science &Business Media.

National Research Council (Ed.). (1996). *National science education standards*. National Academy Press.

National Research Council. (1996). National science education standards: National Academy Press.

National Research Council. (2012). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. (2012). The National Academies Press.

Next Generation Science Standards: For States, By States. (2013). The National Academies Press.

Oxtoby, D. W., Gillis, H. P., & Nachtrieb, N. H. (2002). Principles of Modern Chemistry, ; Thomson Learning. Inc.: San Francisco, CA, 376-381.

Peters, R. S., & Hirst, P. (1970). The logic of education. The logic of education.

Samiullah, M. (2007). What is a reversible process?. *American Journal of Physics*, 75(7), 608-609.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ... & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.

- Schweingruber, H., Keller, T., & Quinn, H. (Eds.). (2012). *A Framework for K-12 Science Education:: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. National Academies Press.
- Science, American Association for the Advancement of Science. (1989). *Science for all Americans* Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- Science, American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for scientific literacy*. New York: Oxford University Press.
- Ulrich, W. (1994). *Critical Heuristics of Social Planning: a New Approach to Practical Philosophy*. Chichester, Wiley
- Von Bertalanffy, L. (1950). The theory of open systems in physics and biology. *Science*, 111(2872), 23-29.
- Weinberg, G. M. (1975). *An introduction to general systems thinking*. N.Y., Wiley.
- Young, H. D., Freedman, R. A., & Ford, L. (2006). *Sears and Zemansky's university physics* (Vol. 1). Pearson education.



## 설문지

본 설문은 서울대학교 상황물리교육연구실 박사과정의 연구자가 실시하는 연구입니다. 설문 내용은 유체의 압력과 부력으로, 향후 교수방법에 대한 시사점을 얻을 수 있는 중요한 기초 자료가 될 것입니다.

본 설문지의 응답 내용은 오직 연구 목적으로만 활용됩니다. 또한 인적 사항이나 응답내용은 오직 연구자들만 확인할 수 있으며, 이후 사적인 용도로 절대 이용되지 않을 것입니다.

차분히 설문지 문항을 읽고 끝까지 성실하게 응해주시기 바랍니다.

\_\_\_\_\_대학 \_\_\_\_\_학과

이 름 : \_\_\_\_\_ ( 남 , 여 )

연락처 : \_\_\_\_\_

이메일 : \_\_\_\_\_



상황물리교육 연구실  
Education of Physics in Context

사범대학 물리교육과 상황물리교육연구실 (<http://epic.snu.ac.kr>)

설문은 순서대로 작성해주시고, 작성 전 다음 장의 질문을 확인하지 않으시기 바랍니다. 작성 과정에서 앞의 문제에 대한 답을 수정하지 않으시면 감사하겠습니다.

<기본 정보>

1. 본인이 부력에 대해서 처음으로 접한 시기와 최근에 접한 시기는 각각 언제입니까?

A. 처음 - \_\_\_\_\_

B. 최근 - \_\_\_\_\_

2. 고등학교에서 수강한 과학 선택과목과 수능에서 선택한 과학 과목, 대학에서 수강한 물리 강좌를 모두 써주세요.

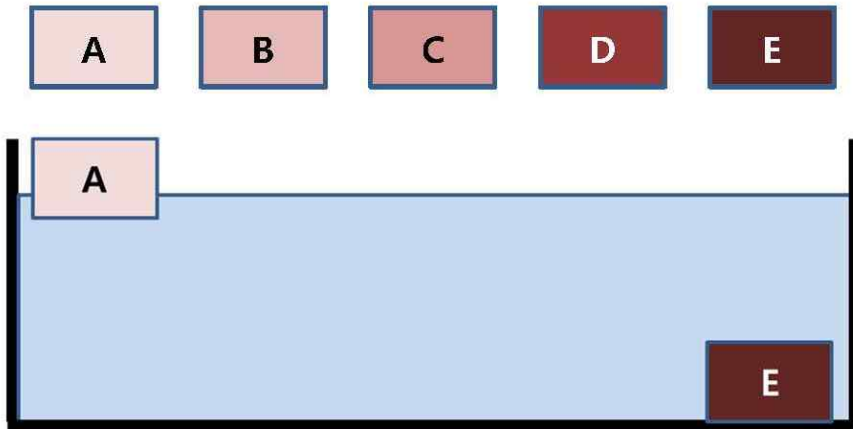
A. 고등학교 수강 과목 - \_\_\_\_\_

B. 대학수학능력시험 선택과목 - \_\_\_\_\_

C. 대학에서 수강한 물리강좌 - \_\_\_\_\_

[문항1] 물체 A와 E를 물에 넣었을 때의 위치가 아래 그림과 같다. 물체 B, C, D를 물에 넣었을 때의 위치를 그림으로 나타내고 그 이유를 설명해주세요.

질량:  $A < B < C < D < E$   
부피:  $A = B = C = D = E$



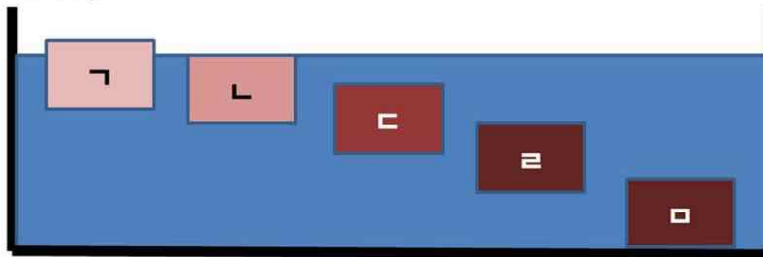
[문항2] 액체와 밀도가 같은 물체를 아래 그림과 같은 위치에서 손으로 잡고 있다가 놓았다.

오랜 시간이 지난 후 물체의 위치는 어떻게 되는지

<보기>에서 고르고, 그 이유를 부력을 이용해서 설명해 주세요.



<보 기>



(a) 위치 - ( )

(b) 이유



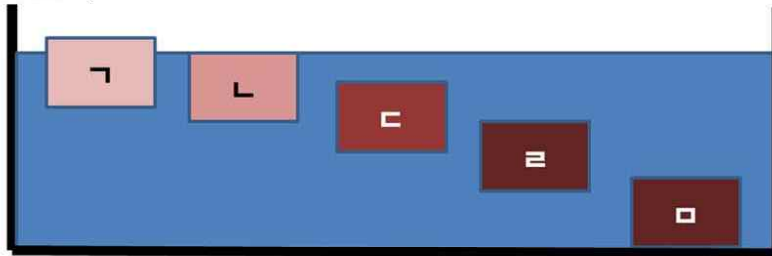
[문항3] 액체와 밀도가 같은 물체를 아래 그림과 같은 위치에서 손으로 잡고 있다가 놓았다.

오랜 시간이 지난 후 물체의 위치는 어떻게 되는지

<보기>에서 고르고, 그 이유를 부력을 이용해서 설명해 주세요.



<보 기>



(a) 위치 - (                      )

(b) 이유

[문항4] 오랜 시간이 지난 후 물질 A가 그림과 같이 위치해 있다.



(1) 각 문제에 제시된 물리량의 크기를 부등호 또는 등호 써서 표시하고, 그 이유를 설명해 주세요.

1) ㉠ 액체 1의 밀도, ㉡ 액체 2의 밀도, ㉢ 물질 A의 밀도

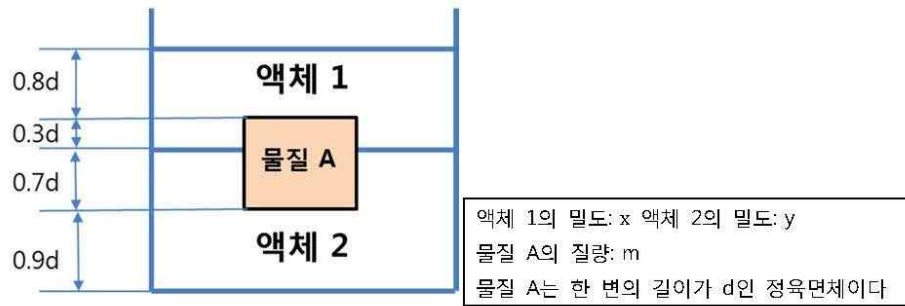
2) ㉠ 물질 A에 작용하는 액체 1의 부력의 크기, ㉡ 물질 A에 작용하는 액체 2의 부력의 크기

3) ㉠ 물질 A에 작용하는 중력의 크기, ㉡ 물질 A에 작용하는 액체 1의 부력의 크기

4) ㉠ 물질 A에 작용하는 중력의 크기, ㉡ 물질 A에 작용하는 액체 2의 부력의 크기

(2) 물질 A에 작용하는 액체 1의 부력의 방향과 액체 2의 부력의 방향은 어느 방향인지  
써주세요.

[문항5] 오랜 시간이 지난 후 물질 A가 그림과 같이 위치해 있다.



(1) 물질 A가 정지해 있을 때, 물질 A의 밀도는? (                      )

- ①  $0.8x + 0.9y$     ②  $0.8x + 0.7y$     ③  $0.3x + 0.7y$   
 ④  $0.3x + 0.9y$     ⑤  $1.1x + 1.6y$

(2) 그 이유는 무엇인지 자세히 설명해 주세요.

수고하셨습니다. 끝까지 성실하게 응답해 주셔서 감사합니다.  
본 설문 결과를 과학교육의 의미 있는 결과로 발전시킬 수  
있도록 노력하겠습니다.

## 설문지

본 연구는 물리학의 보존법칙에 대한 대학생들의 이해를 알아보기 위한 것으로, 향후 역학의 교수 방법에 대한 시사점을 얻을 수 있는 중요한 기초 자료가 될 것입니다. 본 설문지의 응답 내용은 오직 연구 목적으로만 활용됩니다. 또한 인적 사항이나 응답 내용은 오직 연구자들만 확인할 수 있으며, 이후 사적인 용도로 절대 이용되지 않을 것입니다.

설문지 문항을 읽고 해당하는 곳에 O표 해주시기 바랍니다.

### I. 기초 자료

1. 이름 :

2. 핸드폰:

3. 고등학교에서 본인이 이수했던 교과목

물리 I (        ) 화학 I (        ) 생명과학 I (        ) 지구과학 I (        )  
물리 II (        ) 화학 II (        ) 생명과학 II (        ) 지구과학 II (        )

4. 대학교에서 본인이 이수했던 물리 교과목

일반물리 (        ) 역학1 (        ) 역학2 (        )  
광학 (        ) 전자기학1 (        ) 전자기학2 (        )  
현대물리 (        ) 양자역학1 (        ) 양자역학2 (        )  
열통계학 (        ) 기타 (        )

1. 다음은 과학에서 사용되는 계(system)에 대한 질문입니다. 각 문항에 대해 구체적으로 설명해주세요.

(1) 과학에서 사용되는 계의 정의를 써주세요.

(2) 다음 계에 대한 정의를 써주세요.

① 고립계(isolated system):

② 단열계(Adiabatic system):

③ 닫힌계(closed system):

④ 열린계(open system):

(3) ① 내력(internal force)과 외력(external force)을 각각 설명하고, ② 이 두 힘은 어떻게 구분되는지 설명해주세요. 그리고 ③ 내력과 외력을 구분하는 것이 필요한 이유를 써주세요.

① 내력:

외력:

② 내력과 외력의 구분 기준:

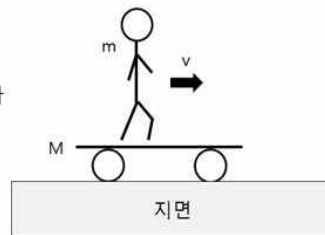
③ 내력과 외력의 구分的 필요성:

2. 다음은 선운동량 보존법칙에 대한 문제입니다. 각 문항에 대해 구체적으로 설명해주세요.

(1) 선운동량 보존법칙에 대해 설명해 주세요.

(2) 선운동량 보존법칙이 성립하는 조건을 설명해 주세요.

(3) 오른쪽 그림에서 질량  $m$ 인 사람이 지면에 정지해 있는 질량  $M$ 인 수레에 올라타고 있습니다. 수레에 타기 직전의 사람의 수평방향 속도가  $v$ 였다면, 수레에 오른 후에 수레와 사람의 수평방향 속도를 운동량 보존법칙을 이용하여 설명해 주세요(단, 지면과 수레 사이의 마찰은 없습니다).

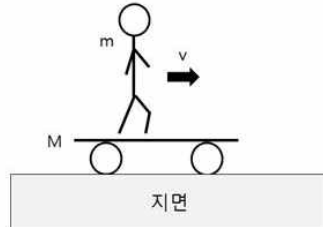


(4) 문항 2-(3) 해결을 위해서 계를 이용하였으면 1)번 문항에, 계를 이용하지 않았으면 2)번 문항에 답하세요.

1) (계를 이용했으면) 본인이 규정한 계의 구성요소를 쓰고 그렇게 구성요소를 규정한 이유를 설명해주세요.

2) (계를 이용하지 않았다면) 계를 이용하지 않은 이유는 무엇인지 설명해주세요.

(5) 문항 2-(3)의 상황에서 사람이 착지하는 순간에 작용하는 힘을 아래 그림에 모두 표시하고, 각 힘을 외력과 내력으로 구분해 주세요. 각 힘을 이와 같이 구분한 이유를 설명해주세요.



- 이유:

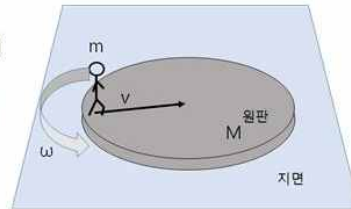
3. 다음은 각운동량 보존법칙에 대한 문제입니다.

(1) 각운동량 보존법칙에 대해 설명해 주세요.

(2) 각운동량 보존법칙이 성립하는 조건을 설명해 주세요.



- (3) 오른쪽 그림과 같이 반지름이  $R$ 이고 질량이  $M$ 인  
지면에 놓여 있는 원판의 가장자리에 질량  $m$ 인 사람이  
가만히 서 있다. 그리고 원판의 중심을 축으로 하여  
사람과 원판이 일정한 각속도  $\omega$ 로 회전하고 있습니다.



원판의 기준계에서 볼 때, 사람이 일정한 속도  $v$ 로  
갑자기 출발하여 원판의 중심으로 이동하였습니다.

사람이 원판의 중심에 도착했을 때의 각속도를

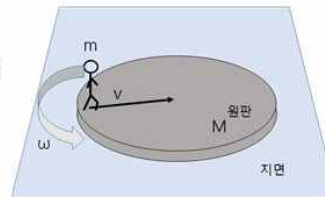
각운동량 보존법칙을 이용하여 구하세요(단, 지면과 원판 사이의 마찰은 없고, 사람은 원판에서  
미끄러지지 않습니다).

- (4) 문항 3-(3) 해결을 위해서 계를 이용하였으면 1)번 문항에, 계를 이용하지 않았으면 2)번  
문항에 답하세요.

- 1) (계를 이용했으면) 본인이 규정한 계의 구성요소를 쓰고 그렇게 구성요소를 규정한 이유를  
설명해주세요.

- 2) (계를 이용하지 않았다면) 계를 이용하지 않은 이유는 무엇인지 설명해주세요.

- (5) 문항 3-(3)의 상황에 작용하는 힘을 아래 그림에 모두  
표시하고, 각 힘을 외력과 내력으로 구분해 주세요. 각 힘을  
이와 같이 구분한 이유를 설명해주세요.



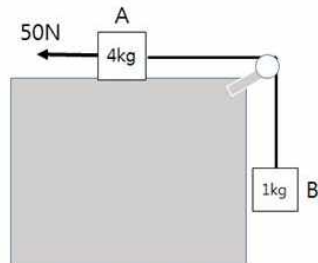
-이유

4. 다음은 역학적에너지 보존법칙에 대한 문제입니다. 각 문항에 대해 구체적으로 설명해주세요.

(1) 역학적에너지 보존법칙에 대해 설명해 주세요.

(2) 역학적에너지 보존법칙이 성립하는 조건을 설명해 주세요.

(3) 아래 그림과 같이 질량이 각각 4kg, 1kg인 물체 A, B가 질량을 무시할 수 있는 일정한 길이의 실로 연결되어 정지해 있습니다. 이 때 물체 A에 그림과 같이 일정한 힘  $F=50\text{N}$ 이 작용하고 있습니다(단, 중력가속도는  $10\text{ m/s}^2$ 이고, 모든 마찰력과 공기저항은 무시한다).



1) 정지해 있던 물체 A, B가 10m 이동하였을 때, 역학적에너지의 변화 여부를 아래에서 고르고, 그 이유를 설명하세요.

① 보존된다 (     )    ② 보존되지 않는다 (     )    ③ 기타 (     )

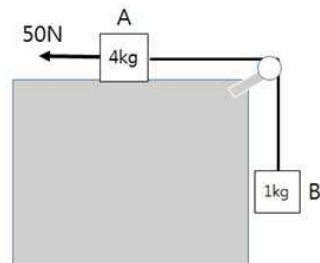
-이유:

(4) 문항 4-(3) 해결을 위해서 계를 이용하였으면 1)번 문항에, 계를 사용하지 않았으면 2)번 문항에 답하세요.

1) (계를 이용했으면) 본인이 규정한 계의 구성요소를 쓰고 그렇게 구성요소를 규정한 이유를 설명해주세요.

2) (계를 사용하지 않았다면) 계를 사용하지 않은 이유는 무엇인지 설명해주세요.

(5) 문항 4-(3)의 상황에 작용하는 힘을 오른쪽 그림에 모두 표시하고, 각 힘을 외력과 내력으로 구분해 주세요. 각 힘을 이와 같이 구분한 이유를 설명해주세요.



-이유:

5. 설문 과정에서 문제의 의도를 파악하기 어려웠던 부분이나 답하기 어려웠던 점을 써주세요.

# 설문지

본 연구는 계에서의 일과 에너지에 대한 대학생들의 이해를 알아보기 위한 것으로, 향후 계를 중심으로 한 역학, 열역학, 유체역학의 교수방법에 대한 시사점을 얻을 수 있는 중요한 기초 자료가 될 것입니다. 본 설문지의 응답 내용은 오직 연구 목적으로만 활용됩니다. 또한 인적 사항이나 응답 내용은 오직 연구자들만 확인할 수 있으며, 이후 사적인 용도로 절대 이용되지 않을 것입니다.

설문지 문항을 읽고 해당하는 곳에 O표 해주시기 바랍니다.

## I. 기초 자료

1. 이름 :

2. 핸드폰:

3. 고등학교에서 본인이 이수했던 교과목

물리 I (        ) 화학 I (        ) 생명과학 I (        ) 지구과학 I (        )  
물리 II (        ) 화학 II (        ) 생명과학 II (        ) 지구과학 II (        )

4. 대학교에서 본인이 이수했던 교과목

일반물리 (        ) 역학 I (        ) 역학2 (        )  
광학 (        ) 전자기학1 (        ) 전자기학2 (        )  
현대물리 (        ) 양자역학1 (        ) 양자역학2 (        )  
열통계학 (        ) 기타 (        )

1. 다음은 과학에서 사용되는 계(system)에 대한 질문입니다. 각 문항에 대해 구체적으로 설명해주세요.

(1) 과학에서 사용되는 계의 정의를 써주세요.

(2) 다음 계에 대한 정의를 써주세요.

① 고립계(isolated system):

② 단열계(Adiabatic system):

③ 닫힌계(closed system):

④ 열린계(open system):

2. (1) 열역학 1법칙의 정의를 쓰고, (2) 열역학 1법칙을 적용할 수 있는 계와 조건을 써주세요.

(1) 정의:

(2) 적용할 수 있는 계:

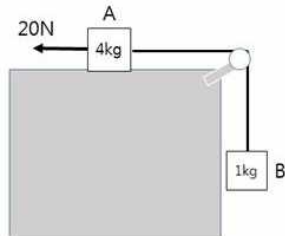
조건:

3. 역학과 열역학에서 일의 정의를 써주세요.

역학의 일:

열역학에서의 일:

4. 그림 (가)는 두 물체가 질량을 무시할 수 있는 줄로 연결되어 있으며, 지면과 마찰이 없는 상태로 정지해 있습니다. 그림 (나)는 이상기체가 채워진 실린더가 평형상태를 이루고 있습니다. 피스톤의 질량과 모든 마찰은 무시할 수 있습니다. 다음 물음에 답해주세요(단, 중력가속도는  $10\text{ m/s}^2$ 이며, 실린더와 피스톤을 통한 열의 이동은 없습니다).



(가)



(나)

- (1) 그림 (가)의 정지해 있던 두 물체 중, 물체 A에 일정한 힘 20N을 왼쪽 방향으로 작용하였습니다. 물체가 10m 이동하는 과정에서의 두 물체 계의 역학적에너지의 크기의 변화를 선택하고, 그 이유를 설명해주세요.

증가한다 (     )    감소한다 (     )    일정하다 (     )    알 수 없다 (     )

-이유:

- (2) 그림 (나)의 평형상태에 있던 기체 계의 피스톤에 오른쪽 방향으로 일정한 힘 10 N이 작용하여, 피스톤이 처음위치에서 오른쪽으로 10m 이동하는 과정에서의 기체 계의 내부에너지의 크기의 변화를 선택하고, 그 이유를 설명해주세요.

증가한다 (     )    감소한다 (     )    일정하다 (     )    알 수 없다 (     )

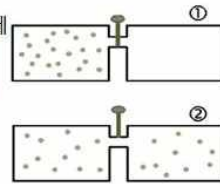
-이유:

③ 기체 계를 경계로 열이 이동할 수 있다면, 기체 계의 내부 에너지는 '문항 4-(2)'에 대한 응답과 어떻게 달라지는지 선택하고, 그 이유를 써주세요.

동일하다 (        )      달라진다 (        )      알 수 없다 (        )

-이유:

5. 오른쪽 그림의 ①번 상황은 닫힌 밸브를 경계로 하여 왼쪽에는 이상기체가 들어있고 오른쪽은 진공 상태입니다. 그리고 그림 ②는 밸브를 열어 왼쪽의 기체가 자유롭게 오른쪽으로 이동하는 상황입니다. 다음 질문에 답해주세요.



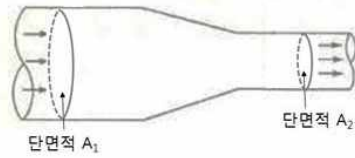
(1) 이와 같은 자유팽창 과정에서 기체가 한 일을 설명해주세요.

(2) 기체가 한일을 설명하기 위해 계를 이용하였으면 1)번 문항에, 계를 이용하지 않았으면 2)번 문항에 답하세요.

1) (계를 이용했으면) 본인이 규정한 계의 구성요소를 쓰고 그렇게 구성요소를 규정한 이유를 설명해주세요.

2) (계를 이용하지 않았다면) 계를 이용하지 않은 이유는 무엇인지 설명해주세요.

6. 오른쪽 그림과 같이 단면적이  $A_1$ 에서  $A_2$  ( $A_1 > A_2$ )로 변하는 원통형 관에, 밀도  $\rho$ 인 이상유체가 오른쪽 방향으로 흐르고 있다. 단면  $A_1$ 에 작용하는 유체의 압력은  $p_1$ , 유체속도는  $v_1$ 이고, 단면  $A_2$ 에 작용하는 유체의 압력은  $p_2$ , 유체속도는  $v_2$ 이다.



- (1) 이상유체가 관을 따라 흐를 때, 단면적과 유체속도와의 관계식을 유도하고, 그 관계식을  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ 로 표현하세요.

-유도:

-관계식:

- (2) 동일한 시간 동안, 단면  $A_1$ 에 작용하는 압력  $p_1$ 에 의해 유체계가 받은 일  $W_1$ 과 유체계가 단면  $A_2$ 에 작용하는 압력  $p_2$ 로 한 일  $W_2$ 의 크기를 비교하고, 그 이유를 써주세요.

- 크기 비교:  $W_1$  ( )  $W_2$

- 이유:

- (3) 단면  $A_1$ 에 작용하는 압력  $p_1$ 과 단면  $A_2$ 에 작용하는 압력  $p_2$ 의 크기를 비교하고, 그 이유를 써주세요.

- 크기 비교:  $p_1$  ( )  $p_2$

- 이유:



(4) 본인이 알고 있는 이상유체의 성질을 모두 쓰고, 이 문제(문제 6번)을 풀기 위해 필요한 이상유체의 성질을 모두 쓰세요.

- 이상유체의 성질:

- 문제 6번에서 적용되어야 하는 이상유체의 성질:

7. 설문 과정에서 문제의 의도를 파악하기 어려웠던 부분이나 답하기 어려웠던 점을 써주세요.

### [부록3] 연구참여자용 설명서 및 동의서

## 연구참여자용 설명서 및 동의서 (면담)

연구 과제명 : 계의 유형에 따른 보존법칙과 에너지에 대한 대학생들의 이해

연구 책임자명 : 지영래 (서울대학교, 박사과정)

이 연구는 계에 유형에 따른 보존법칙의 적용과 계의 규정에 따른 에너지와 일 등의 물리량에 대한 대학생들의 어려움은 무엇인지 탐색하고 그 원인을 분석하는 연구입니다. 귀하는 대학교에 재학 중인 학생으로서 일반물리학 수준 이상의 학습경험이 있기 때문에 이 연구에 참여하도록 권유 받았습니다. 이 연구를 수행하는 서울대학교 소속의 물리교육과 박사과정인 연구원책임자 지영래(02-880-8817)가 귀하에게 이 연구에 대해 설명해 줄 것입니다. 이 연구는 자발적으로 참여 의사를 밝히신 분에 한하여 수행 될 것이며, 귀하께서는 참여 의사를 결정하기 전에 본 연구가 왜 수행되는지 그리고 연구의 내용이 무엇과 관련 있는지 이해하는 것이 중요합니다. 다음 내용을 신중히 읽어보신 후 참여 의사를 밝혀 주시길 바라며, 필요하다면 가족이나 친구들과 의논해 보십시오. 만일 어떠한 질문이 있다면 담당 연구원이 자세하게 설명해 줄 것입니다.

### 1. 이 연구는 왜 실시합니까?

이 연구는 계에 유형에 따른 보존법칙의 적용과 계의 규정에 따른 에너지와 일 등의 물리량에 대한 대학생들의 어려움은 무엇인지 탐색하고 그 원인을 분석하는 연구입니다. 이를 통해 물리학에서 계의 중요성을 이해하기 위한 효과적인 교수방안에 대해 제안하는 데에 있습니다.

### 2. 얼마나 많은 사람이 참여합니까?

이 연구에는 사범대학 물리교육 전공 대학생 100여명이 설문에 참여할 것입니다. 설문 후 면담 참여한 동의한 20여명의 학생이 면담에 참여하게 됩니다.

### 3. 만일 연구에 참여하면 어떤 과정이 진행됩니까?

만일 귀하가 참여의사를 밝혀 주시면 다음과 같은 과정이 진행될 것입니다.

지원자는 계를 핵심용어로 한 세 영역(역학, 열역학, 유체역학)에 대한 두 세트의 설문지 중의 일부에 참여자이며, 면담에 동의한다면 향후 면담에 실시됩니다. 면담은 30분 이내의 시간이 소요되며, 참여자가 설문지에 작성한 내용에 기초하

여 연구자가 추가 질문을 할 예정입니다. 이를 통하여 물리학에서 관련 영역별로 계의 특성에 대한 적절한 이해가 필요하며, 물리학을 이해하는 데 있어 계와 관련된 어려움을 탐색하여 물리 교수학습에 대한 시사점을 찾고자 합니다.

#### **4. 연구 참여 기간은 얼마나 됩니까?**

연구 기간은 약 1년 정도입니다. 연구 참여자는 본인이 작성한 응답 내용에 대한 연구자의 추가 질문을 중심으로 한 30분 이내의 면담에 참여하게 됩니다.

#### **5. 참여 도중 그만두어도 됩니까?**

예, 귀하는 언제든지 어떠한 불이익 없이 참여 도중에 그만 둘 수 있습니다. 만일 귀하가 연구에 참여하는 것을 그만두고 싶다면 연구 책임자에게 즉시 말씀해 주십시오.

#### **6. 부작용이나 위험요소는 있습니까?**

현재 예상되는 부작용이나 위험요소는 없습니다. 하지만 본인이 부작용이나 위험요소가 있다고 판단된다면 담당 연구원에게 즉시 문의해 주십시오.

#### **7. 이 연구에 참여시 참여자에게 이득이 있습니까?**

이 연구는 귀하에게 직접적인 도움이 되지 않을 수도 있습니다. 그러나 귀하가 제공하는 정보는 물리학 학습과 관련하여 고등 물리교육 및 대학 일반물리교육에 시사점을 제공하는 데에 도움이 될 것입니다.

#### **8. 만일 이 연구에 참여하지 않는다면 불이익이 있습니까?**

귀하는 본 연구에 참여하지 않을 자유가 있습니다. 또한, 귀하가 본 연구에 참여하지 않아도 귀하에게는 어떠한 불이익도 없습니다.

#### **9. 연구에서 얻은 모든 개인 정보의 비밀은 보장됩니까?**

개인정보관리책임자는 서울대학교의 지영래(02-880-8817)입니다. 저희는 이 연구를 통해 얻은 모든 개인 정보의 비밀 보장을 위해 최선을 다할 것입니다. 이 연구에서 얻어진 개인 정보가 학회지나 학회에 공개 될 때 귀하의 이름과 다른 개인 정보는 사용되지 않을 것입니다. 그러나 만일 법이 요구하면 귀하의 개인 정보는 제공될 수도 있습니다. 또한 모니터 요원, 점검 요원, 생명윤리심의위원회는 연구참여자의 개인 정보에 대한 비밀 보장을 침해하지 않고 관련규정이 정하는 범위 안에서 본 연구의 실시 절차와 자료의 신뢰성을 검증하기 위해 연구 결

과를 직접 열람할 수 있습니다. 귀하가 본 동의서에 서명하는 것은, 이러한 사항에 대하여 사전에 알고 있었으며 이를 허용한다는 동의로 간주될 것입니다.

**10. 이 연구에 참가하면 댓가가 지급됩니까?**

죄송합니다만 본 연구에 참가하는데 있어서 연구 참여자에게 어떠한 금전적 보상도 없습니다.

**11. 연구에 대한 문의는 어떻게 해야 됩니까?**

본 연구에 대해 질문이 있거나 연구 중간에 문제가 생길 시 다음 연구 담당자에게 연락하십시오.

이름: 지영래                      전화번호:

만일 어느 때라도 연구 참여자로서 귀하의 권리에 대한 질문이 있다면 다음의 서울대학교 생명윤리심의위원회에 연락하십시오.

서울대학교 생명윤리심의위원회 (SNUIRB)                      전화번호:

## 동 의 서

1. 나는 이 설명서를 읽었으며 담당 연구원과 이에 대하여 의논하였습니다.
2. 나는 위험과 이득에 관하여 들었으며 나의 질문에 만족할 만한 답변을 얻었습니다.
3. 나는 이 연구에 참여하는 것에 대하여 자발적으로 동의합니다.
4. 나는 이 연구에서 얻어진 나에 대한 정보를 현행 법률과 생명윤리심의위원회 규정이 허용하는 범위 내에서 연구자가 수집하고 처리하는데 동의합니다.
5. 나는 담당 연구자나 위임 받은 대리인이 연구를 진행하거나 결과 관리를 하는 경우와 보건 당국, 학교 당국 및 서울대학교 생명윤리심의위원회가 실태 조사를 하는 경우에는 비밀로 유지되는 나의 개인 신상 정보를 직접적으로 열람하는 것에 동의합니다.
6. 나는 언제라도 이 연구의 참여를 철회할 수 있고 이러한 결정이 나에게 어떠한 해도 되지 않을 것이라는 것을 압니다.
7. 나의 서명은 이 동의서의 사본을 받았다는 것을 뜻하며 연구 참여가 끝날 때까지 사본을 보관하겠습니다.

연구참여자 성명	서 명	날짜 (년/월/일)
동의서 받은 연구원 성명	서 명	날짜 (년/월/일)
연구책임자 성명	서 명	날짜 (년/월/일)

#### [부록4: 본 연구] 심층면담 전사본(일부): 시스템에 대한 인식

##### <면담자 1>

- I: 내가 생각하는 시스템은?
- S1 어떤 물체에 대해서 내가 보고자 하는 것, 공간
- I: 그러면 어떤 것을 시스템을 대상으로 하는가요?
- S1 내가 보고자 하는 물체가 존재하는 공간
- I: 과학이나 물리학에서 시스템이라는 것은 어떤 역할 또는 중요성은?
- S1 여러 시스템이 있으면 너무 복잡하니까 최대한 간단하게 보고 간소화 하는 과정
- I: 간소화하는 과정은 무엇인가요? 복잡한 걸 간소화한다는 것은?
- S1 아아아...예를 들어서, 아 막 물체가 막 여러개 움직여요. 하나가 움직이는 것을 알고 있는데 여러 개를 이해하기 힘들니까 한 물체에 대한 관계를 통해 알아본다.
- I: 복잡한 걸 간소화한다는 생각이 수에 관련된 건가요?
- S1 수에 관한 걸 수도 있고, 예를 들어 선운동량과 각운동량은 관계가 없는 것일 수도 있으니까, 선운동량 먼저 보고 각운동량을 나중에 보는 것
- I: 그렇다면 서로 독립적인 물리량을 해석해서 물체를 이해하는 것이라는 거지요?
- S1 네
- I: 일반적인 과학으로 확장하면 시스템의 중요성은 같은가요? 물리학이 아닌 것 중에서도 이런 예들이 있나요?
- S1 생물학 같은 곳에서도 하나의 현상이 역학적 또는 전기적인 원인이 될 수도 있으니까 그런 것들을 독립적인 것으로 각각 보고 추론하는 것
- I: 한 가지 요소를 본 후에 이것을 합하면 전체를 이해하는 데 오류가 발생하지는 않을까?
- S1 뭐 그럴 수 있겠죠. 전기나 역학이나 독립적인 것은 아니니까 어느 정도 관련이 되는데 시스템 간의 관련에 의해서도 알면은 정확해 질 것 같아요.
- I: 여기서 말하는 시스템 간의 관련이라면?
- S1 선형운동량이나 각운동량이 에너지에 대해서는 관련이 있는 것
- I: 그렇다면 여기서 선형운동량 각운동량은 시스템이라고 생각하는 것인가요?
- S1 네.
- I: 아까 시스템이 어떤 물체에 대해서 내가 보고자 하는 공간이라고 했는데
- S1 내가 보고자 하는 게 내가 무엇을 볼 건지에 대해 정하고 그것에 대해 해석하는 것 같아요. 선형운동량을 본다면 그것에 대한 것만 보고 각운동량을 본다면 그것만 보는 것
- I: 해석과 공간이 다른 것 같은데?
- S1 해석이 좀 더 가까운 것 같다. 그 공간에 대한 해석 정도로 하면 될 것 같다.

- I: 중고등학교에서 학습에서 시스템이 사용되었나요?
- S1 시스템이라는 말은 쓰지 않은 것 같아요
- I: 계라는 말은요?
- S1 고등학교 때 쓰긴 했는데 잘 들어보진 않았던 것 같아요  
열역학 법칙을 할 때 계라는 말을 들어봤던 것 같아요
- I: 다른 과목에서는 사용되었나요?
- S1 생태계요.
- I: 화학은 또는 지구과학에서는요?
- S1 지구과학은 안 배워서 모르겠어요.
- I: 중학교 때는?
- S1 중학교 때는 잘 기억이 나지 않아요.
- I: 본인이 생각하는 시스템과 생태계에서 사용하는 시스템은 같은가요? 다른가요?
- S1 조금 비슷한 것 같은데 ,완전히 같지는 않아요.
- I: 물체가 생물이 되서, 생물에 대한 해석이긴 한데, 공간에 대해서는 딱히 다루지 않은 것 같다. 그런데 따지고 보면 지구에서의 생물에 대해 다뤘기 때문에 이미 공간은 제한적인 것 같으나 완전히 같지는 않은 것 같아요
- S1 비슷한 부분도 있는 것 같다.
- I: 열역학 법칙에서는 어디에서 계가 쓰였어요? 단어에서 쓰였을려나?
- S1 계의 열 출입이 없을 때? 이런 말 썼던 것 같아요
- I: 혹시 이렇게 물리 전공이니까. 물리에 대해서 더 많이 알 테니까. 계라는 것과 직접적으로 관련되면서 쓰였던 것 있었던 것 같아요?
- S1 열에서 많이 쓰였던 것 같아요. 단열이라던지 고립계에서 사용되었던 것 같다.
- I: 계라는 것을 잘 이해하고 있어야... 계를 잘 이해해야 힘을 잘 이해할 수 있었다는 것이 있었나?
- S1 잘 잡아야 하는 것 같아요. 어느 공간에서 있었냐는 것에 대해 잘 잡아야 해석이 되니까
- I: 못 잡으면 어떤 해석의 어려움?
- S1 계를 잘못 잡으면... 예를 들어, 상자 안에 피스톤 하나 박아 놓고 여기 저기 다른 계를 잡아 놓고 하면 해석이 되는 것을 하나의 계로 보면 해석이 어려운?
- I: 하나의 계로 보면 풀리지는 않는 것은 아닌데?

<면담자 2>

- I: 본인이 생각하는 시스템의 정의는?
- S2: 역학에서 명시적으로 드러나는 것 같지만 전자기학이나 어디서든 다 쓸 수 있는 것
- I: 역학에서 들었을 때 시스템은 주로 어떤 개념과 관련해서 사용되었는가?
- S2: 파티클의 상호작용과 보존에서 사용됐던 것 같다.
- I: 파티클의 상호작용과 관련해서 시스템을 설명할 수 있겠어요?
- S2: 다시 생각해 보니까 파티클의 상호작용에서 시스템을 쓴다기보다, 시스템을 정의할 때 파티클의 상호작용을 기준으로 정의할 수 있을 것 같다.
- I: 시스템은 어떤 것?
- S2: 물리량이 변하는 상황에서... 시스템을 사용할 때 가장 쉬운... 가장 간단하게 말하면 물체를 밀 때 책에서는 교과서 같은 데에서 나무토막을 밀 때 하나로 보지만 엄청나게 많은 입자들을 미는 것. 힘을 가하는 지점 근처의 입자들을 미는 것이고 그것들이 상호작용을 해서 하나로 움직이는 것
- I: 시스템이라는 것이 우리가 흔히 말하는 나무토막이 수많은 입자들로 이뤄진 시스템이다.
- S2: 큰 느낌은 사람이 잡는대로 하나의 시스템이 되는
- I: 잡는다는 것이 뭐죠?
- S2: 중고등학교 때를 생각해 보면 문제를 해결하기 용이한 대로 시스템을 잡는 것. 주로 보존 상황. 입자 하나의 보존을 볼 수 있는데, 입자 여러 개가 모여서 보여지는 것이 다름. 질량중심이라든지 시스템내에서의 보존을 얘기 할 수 있고. 입자 여러 개가 모여서 보여지는 물리적 성질이나, 시스템의 안과 밖을 구분지으려고 시스템을 이야기 한 것 같아요.
- I: 시스템을 많이 생각해 봤어요?
- S2: 생각은 해봤는데 말로 설명한 적은 없었던 것 같아요
- S2: 고등학교 때도 보존 같은 것 문제를 풀면은, 막연히 이 문제에서는 이렇게. 아무 말도 없이 운동량 보존 써라 역학적에너지 보존 써라 라고 하잖아요. 그래서 저도 어려움을 느끼고 그랬었는데, 그 때는 계라는 말을 명시적으로 쓰지는 않았지만 경험적으로 이렇게 하나로 보자. 그런 느낌이 있었거든요. 그러면 이 내에서 운동에너지하고 밖과의 힘. 특히 역학적에너지 보존 상황에서는 외부에서의 일. 외부에게 일을 하는가? 운동에너지 상황에서는 힘을 가하는가 아닌가? 뭔가 문제를 해결하기 위해서 하나로 본다 하는 느낌을.... 공부하면서 이렇게 하면 막연하게 했던 문제 해결 과정이... 뭔가 규칙적 해결 방안이 있다는 느낌을 받았거든요. 나중에 대학교 와서도 멘토링을 하면서 설명을 좀 더 깔끔하게 하긴 했지만 시스템을 정의한 것은 상당히 해 본 적도 없고 막연하게 해서 한 마디로 설명하지는 못했던 것 같아요.



- I: 역학적에너지 보존. 질량중심과 관련해서 계라는 것이 중요하다고 말했는데, 혹시 역학적에너지 보존이 되려면 어떤 계의 조건이어야 할까요?
- S2: 보존력만 일을 하는 계. 계를 잡았을 때 계를 잡았다는 것은 외부와 내부를 구별한다는 거잖아요? 시스템을 이렇게 잡아라고 정해진 것은 아니지만. 내가 이 문제를 해결하기 위해서는 내가 이렇게 계를 잡겠다. 그러면 외부와 내부를 구별하게 되는 건데. 외부에서나 내부에서나 보존력만 출입하는... 그 보존력만 일을 하는
- I: 보존력만 일을 한다는 것을 좀 더 풀어서 설명할 수 있을까요?
- S2: 역학적에너지가 보존이 되려면, 원래는 어쨌든 운동에너지는 늘어나잖아요. 역학적에너지를 정의하는게 보존력에 대해서 정의를 하게 되니까 어떤 시스템을 잡건 간에 운동에너지는 변하게 되지만 만약에 보존력이 일을 한다면 퍼텐셜에너지를 정의를 해서, 그림으로 나타나면 외부와의 출입이 이렇게 있으면 운동에너지가 변하는데, 이걸 모든 일이 되지만 만약에 보존력이 일을 하는 계가 있으면 구분해서 보존력이 일을 하는 계와 보존력이 아닌 일을 구분하게 되면, 보존력이 한 일의 양을 위치에너지의 변화로서 정의해 가지고 그러면 보존력만 일을 할 때는 애와 애는 각각 변하지만 합은 안변하게 정의할 수 있잖아요. 그러면 이것을 역학적에너지라 정의하자. 보존력만 작용하면 중력, 전기력 뭐 탄성력 등등만 정의하는 시스템에서 에너지의 출입을 관여한다고 하면 그냥 이걸로도 해결할 수 있지만 역학적에너지 위치에너지를 정의해서 두 개의 합인 역학적에너지가 보존된다고 하면 문제상황이 쉽게 해결된다.
- I: 보존력과 관련해서 위치에너지를 강조했던 것 같은데 어떤 측면에서 보존력과 위치 에너지가 관련되나?
- S2: 퍼텐셜에너지 자체가 보존력이 일을 할 때의 변화량이다. 포텐셜에너지 자체가 보존력에 관계되는 것
- I: 본인이 생각하는 보존력은 무엇인가요?
- S2: 경로에 무관한 일. 사람이 하는 일이나 마찰력도 포텐셜에너지를 역지로 정의할 수 있지만, 중력이나 전기력이나 이런 것들은 일을 계산해볼 때 뭐 폐경로로 일을 했을 때 0이 되는, 중간 과정을 생각할 수 없게 되는 역학에서 일을 풀게 되면 시간에 대해서 계속 생각해야 하는데, 처음과 나중으로만 생각할 수 있게 되니까 경로에 무관하게 일을 하면. 일반물리까지는 위치에만 관계된 보존력만. 나중에 전자기학을 배우다 보니까 시간에도 포텐셜이 관계되어 있다고 하니까 거기까지는 아직 잘 모르겠어요. 중고등학교에는 위치에만 관계된 힘들이 많으니까요.

#### <면담자 4>

- I: 시스템의 정의는?
- S4: 자연에 있어서, 자연을 이루는 여러 가지 요소들. 시공간을 포함해서 시공간 안에 있는 객체들이 있는데, 계는 시공간 안에 있는 객체들의 다수를 어느 특정할 수 있게 규정해 놓은 것들. 예를 들어 컵 안에 있는 물 분자들의 집합. 여러 가지 자연의 요소들을 어떻게 놓느냐에 따라 다양하게 규정될 수 있다.
- I: 자연의 요소들을 특정지어 놓은 집합이라고 했는데, 집합을 규정한 이유는? 왜 우리는 시스템이라 지칭하는가?
- S4: 제 생각에는 역사적으로 볼 때 처음에 물리학이나 화학이 자연이 어떻게 돌아가는지 탐구하다가 자연을 탐구하다가 단순히 위주로 탐구하다가, 단순한 것을 어느 정도 해결했는데 복잡한 자연계에 도입하려면 하나 하나의 단순계를 적용하기 어렵기 때문에 계라는 것을 도입한 것 아닌가?
- I: 전체적인 것을 보는 것에 계라는 규정이 중요한 것인가요?
- S4: 복잡계를 손쉽게 다루기 위해서
- I: 전체적으로 본다는 것은 전체의 무엇을 본다는 것?
- S4: 전체적으로 보던 하나를 보던 동일한 것 같다. 그것으로부터 관찰되는 현상들, 그것을 토대로 도출되는 공식, 이론, 법칙을 얻기 위해
- I: 단일한 것은 계라고 생각하는 집단이라는 것이 계에 가까운 것이고 하나의 존재하는 단일한 개체는 계는 아닌가?
- S4: 원소하나로하는것도계이기는한데,굳이원소하나를계라고하는것으로규정해서연구할필요는없는것같다.
- I: 시스템 또는 계는 과학에서의 중요성은 무엇인가? 또는 물리학에서 왜 중요하냐?
- S4: 계속 물 분자 이야기를 드는데, 물 분자 하나를 봤을 때는 우리가 아는 물의 특성이 드러나지 않잖아요? 증발이라던가 표면장력이라던가 이런 여러 가지 특성이 드러나지 않고, 다른 물질처럼 행동하는데, 물 분자들이 여러 개가 모여서 상호작용을 하는 거를 일일이 파악하면 정확하고 좋겠지만 뭐 불확정성 원리나 여러 장애물이나 도구의 한계라던가 그래서 시스템이나 계처럼 큰 수의 모임들을 한꺼번에 예측할 수 있는 그런 틀로서의 계나 시스템이 있으면 아까 있었던 여러 개의 상호작용을 다 규정해야 알 수 있는 단체들의 움직임을 우리 능력 내에서 해결할 수 있게 해 주는 중요한 틀로서 중요하다
- I: 복잡계나 다입자계의 경우 우리가 계의 특성을 본다든지 분석한다는 것은 개개인의 상호작용에 대한 이해가 좀 덜 있어도 된다는 건가요?
- S4: 상호작용이 얼마나 있던지는 상관할 요소는 아닌 것 같아요. 그거는 딱히 연관이 있는게 아니고 단지 물 분자가 1몰개 정도가 있으면은 서로간의 상호작용을 고려하면 너무 많은 숫자잖아요. 그게 숫자가 많은 적든 간에 단체로서 행동하기만 하면은 시스템이나 계나 어느 정도 중요성을 가질 것 같은데

- I: 질문을 다시 한 번 할게요. 예를들어서 우리가 운동량 보존법칙을 설명한다고 했을 때, 한 물체와 한 물체 간의 일어나는 상호작용을 보잖아요. 충돌이나 이런 것들. 그런데 다입자계 같은 경우도 충돌이 일어나면서 운동량이 보존되기도 하고 한 운동량이 충돌량이 전달되기도 하는데, 전체를 본다는 것은 각각의 상호작용을 조금 덜 관심을 가져도 해석이 가능한 거라도 얘기한 거였나는 거였어요.
- S4: 계를 연구할 때랑 복수의 계를 연구할 때를 보면, 계 하나만 연구할 때는 상호작용으로부터 도출하는 방법이 있을 것 같아요. 흔히 하는 박스 안에서 완전탄성충돌 기체분자 하나가 있고 박스 안의 상호작용을 알아보는 방법도 있고, 아예 보일이나 샤를의 법칙처럼 용기 안에 담아 놓고 가열해 본단던가 계 전체적으로 특성을 변화시키는 방법
- I: 미시적인 운동에 관심 있는냐 거시적인 운동에 관심 있는냐고 본인이 생각하는 계는 둘 다 계에 대한 연구인데 어디서 출발하는가의 차이라는 거지요?
- S4: 네
- I: 그리고 그 중에서 후자를 더 강조한 것은 아니라는 거지요?
- S4: 네
- I: 둘 다 과학에서 필요하다
- S4: 네
- 계를 하나의 시스템만 연구할 때는 그 계 내부에서 어떻게 상호작용이 일어나나에 대한 큰 두가지 출발점일 거고, 계가 여러 개가 있다면 하나의 계의 내부에서의 일은 좀 더 중요성이 떨어지지 않을까 생각되요. 즉, 계끼리의 상호작용이 좀 더 중요한 테마로 떠오를 것 같아요.
- I: 과학을 배울 때 또는 물리학을 배울 때 시스템을 잘 배워야 하는 이유는 뭐라고 생각해요?
- S4: 여러가지 측면을 생각할 수 있겠는데, 그 중에 하나는 개념인 것 같아요. 자연 현상은 그 자체로 있는데, 우리가 자연 현상을 설명하기 위해서 여러가지 개념들을 도입하잖아요? 각자 그 사람들이 갖고 있는 개념이 분명히 똑같은 걸 생각하고 있지만 얘기하다 보면 다르다. 예를 들어 노란색을 초록색과 빨간색을 섞인 것으로 하는 사람이 있고, 어떤 사람은 노란색은 단일파장이지와 같이 사람마다 갖고 있는 개념이 다른데, 그 계에 대해서도 사람들마다 생각이 다를 것 같아요. 온도, 전자기 등에 대한 여러 개념들이 다른데, 이런 계라는게 개념들을 명확히 해 줄 수 있을 것 같아요. 그래서 사람들이 서로 간에 말이 통하려면 서로 생각하는 게 똑같아야 하니까 계라는 것이 열통계에서 중요한 것 같아요.
- I: 계가 개념들을 명확히 해 주는 데 중요하다고 했는데, 예를 들어 어떤 개념이 그런 역할을 하나요?
- S4: 계 하나만으로는 부족하고, 계, 상호작용, 에너지 이렇게 했을 때. 예를 들면은 말 그대로 열 같은 거는 어떤 사람은 물체의 뜨거운 정도지. 어떤 사람은 에너지를 주고 받은 거를 열이라고 하지. 그럼 열을 자체로 생각하는 사람도 있고 에너지의 이동이라고 생각하는 사람도 있는데, 어. 그런 거를 명확하게 규정할 때 무엇을 계라고 할 것인가? 입자들 간의 모임? 아니면 상호작용은 입자들인 무언가를 주고 받은 것을 상호작용이라고 하는가. 에너지는 또 그 입자들이 갖는 운동량의 총합이라던가 뭐라든가 할 때, 계라는 것이 빠지는 것을 본 적이 없어요. 사실 열통계에서 많이 다뤘기 때문에 다른 데에서는 어떻게 정의될 수 있는지에 대해서는 생각해 봐야 할 것 같긴 한데, 입자들을 다룬 이상 보니까 중학교 교과서에서 열과 관련된 게 나와요. 온도, 열평형 이 나오는데 오개념을 갖고 있으면 큰일 나잖아요. 교사들에게도 명확하게 계라는 개념을 갖고 설명할 필요가 있겠죠

## Abstract

# Physics Preservice Teachers' Perception of the Concept of System and their System-based Understanding of the Problem Solving in Conservation Law

Youngrae Ji

Physics Education Major

Department of Science Education

The Graduate School

Seoul National University

System used for research design and analysis of data in science activity. It could be connected with various concepts in science. The concept of system is closely connected with primary science concept: energy, matters, structure, functions, constancy, changes. And it contribute to a students' thinking development.

Bruner explained that the structure of knowledge is the form of disentangled elements of objects. It is important for teaching and learning to know the structure of discipline. Teachers should figure out the structure of subject and organize the content of that subject. The structure of subject could compose of key content which deliver the wholeness of subject to learners.

This study suggest a system as a key concept for organization of the structure of subject. The concept of system could promote the understanding of physics concepts and application of problem solving. This study suggest an implication about the selection and perception of the target, understanding and application of interaction, analysis of the target system. So this study collected the perception of system from preservice teacher and examined the process of problem solving. In order to identify the concept of system in science and science education, researcher investigated the advanced research about the concept of system, physics concepts, conservation law, and problem solving. Through the prior research, this study suggest the condition of system-based understanding on physics context. First, 'a grasp the background context' is to figure out the characteristic of components on proposed situation and constraints of that components. Second, 'a clarification of the boundary' is to select the components properly for applied law or principle. Third, 'an evaluation of interaction' is to extract valid interaction and to apprehend the effect on the system. Fourth, 'an estimation of the state of system' is to estimate the state of system and system's components.

The purpose of preliminary research is to explore the evidence of two conditions among the condition of system-based understanding. Two conditions were 'a grasp the background context' and 'an evaluation of interaction'. Data were collected from first week of September 2012

to second week of September 2012. The subjects of this study were undergraduate students who were majored in physics education in Seoul, Korea. Questionnaires were composed of problem solving in terms of buoyancy. Preservice teachers were asked to the final location of the object in the liquid. They answered and explained the object's final location of different density (problem 1) and of diverse variable factors (problem 2, 3). The results of this preliminary research show that preservice teachers had difficulties with the constraints of the system's components and effective interactions toward the system.

However, the preliminary study investigated the parts of the whole conditions of a system-based understanding. And previous research did not identify the perception of the system and selection of the system. So main research examined in the whole parts of the conditions of a system-based understanding.

A main research was composed with the analysis of the questionnaire and interview. Data were collected 4 times from fourth week of November 2014 to first week of December 2014. The subjects of this study were undergraduate students who were majored in physics education in Seoul, Korea. The participants had learned at least an introductory physics course. And interviews were conducted 6 times from July 2015 to August 2015.

First part of main research was related with the preservice teachers' perceptions in terms of the system. Preservice teachers asked to explain the system. The results of the analysis show that they explained the concept of system by using some keywords. There were space (31.1%), matter and energy (24.4%), observation (13.3%), and interaction (8.9%). It was different with previous researches' definition of system.

The results of interviews were focused on the conditions of system-based understanding. There were 'a grasp the background context', 'a clarification of the boundary', 'an evaluation of interaction', and 'an estimation of the state of system'. Preservice teachers explained that the components of the system as 'interpretation about the space', 'the group of particles', 'the district was differently applied specific law', 'the boundary was available for transmission of matter and energy', etc. And they explained the reason why they should define the boundary of system as 'an appropriate boundary should select for applying the law or principle', 'a physics quantity should divide by the boundary of system', 'for explanation of center of mass or the concept of conservation'. In the related with an evaluation of interaction, it is need to know physics quantity and interaction by classification of system and environment. Preservice teachers explained that the estimation of the system as 'to apply their interpretation', 'to connect with the purpose and the selection of system', 'to add or extract factors for a new way of thinking'.

Second part of main research was analyzed the preservice teachers' process of problem solving on conservation law. The results of this analysis were focused on the concept of the system. The problems of questionnaires were about the conservation law of isolated and non-isolated system. In the case of isolated system were related with momentum conservation and mechanical energy conservation. And in the case of non-isolated system were related with the first law of the thermodynamics and Bernoulli's law. Preservice teachers were asked to solve the problem about each system's conservation law. The results of the analysis were focused on conditions of a system-based understanding.

First, preservice teachers had difficulties to understand the constraints

of the components and to extract the effect factors on the system. Second, preservice teachers confused with the selection of system and the system's boundary setting. Third, preservice teachers had difficulties in understanding of interaction between system and environment. And they could not extract effective interactions on the system. Fourth, preservice teachers' lacks of understanding caused them to misinterpret the system.

In conclusion, the preservice teachers appreciated the system on their own terms although they explained in the various aspects. Moreover, their perception of physics system was closely connected with their perception of physics. The preservice teacher, however, could not well organize the conditions related with the concept of system in the physics contexts. So, this study suggests the conditions of system-based understanding through their perception of the system and the process of problem solving. This system-based understanding could provide learners and teachers with a clear understanding of physics concept and a well-defined interpretation of physics contexts.

**keywords : system, system-based understanding, conservation  
laws, problem solving, preservice teacher**

***Student Number : 2012-31068***